Finanziato dall'Unione europea NextGenerationEU

FSC Fondo per lo Sviluppo e la Coesione

REGIONE CALABRIA

INVITALIA

SACAL SOCIETA' AEROPORTUALE CALABRESE

ENAC ENTE NAZIONALE PER L'AVIAZIONE CIVILE

Comune di Lamezia Terme

Comune di Gizzeria

Agenzia per la Coesione Territoriale

Presidenza del Consiglio dei Ministri – Ministro per gli Affari Europei, il Sud, le Politiche di Coesione e il PNRR

MINISTERO DELL'INTERNO

Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica

MEF Ministero dell'Economia e delle Finanze

Mims Ministero delle infrastrutture e della mobilità sostenibili

Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

MINISTERO DEL TURISMO REPUBBLICA ITALIANA

SACAL

Società Aeroportuale Calabrese
Crotone, Lamezia Terme, Reggio Calabria

A.U. - Accountable Manager: Marco FRANCHINI
Post Holder Progettazione : ing. Stefania RAIMONDO
Post Holder Manutenzione: ing. Filippo MALAFARINA
Post Holder Terminal: dott.ssa Sabrina MILETO
RUP: Ing. Matteo MASTROIANNI
RSPP SACAL - EX D.LGS 81/08 :dott. Cristian RASO

RIQUALIFICA AMBIENTALE DELLA FASCIA NORD DELL'AEROPORTO CON REALIZZAZIONE DI PISTA CICLABILE PER LA VALORIZZAZIONE ECOSOSTENIBILE DELLA FASCIA COSTIERA (POLO DELLA VELA) E DEL LAGO LA VOTA

CIG: A0159668F5 CUP: H81D2200009002

Ambito di intervento: Trasporti e mobilità sostenibili – Fondi CIS scheda L05

PROGETTO ESECUTIVO

GEOLOGIA E GEOTECNICA - Relazione geologico - tecnica e sismica

PROGETTISTI:

Mandataria

HYpro srl

Mandanti

CORFONE + PARTNERS studios for urban architecture
Ph.D. Arch. Cesare CORFONE

SGMadeo
Archeol. Simone Giosuè MADEO

TEAM DI LAVORO

Responsabile progettazione opere infrastrutturali V.02: **Ing. Michele SISINNO**

Responsabile progettazione opere strutturali S.04 - Resp.ITACA: **Ing. Maurizio CARUSO**

Responsabile progettazione opere impiantistiche IB.04: **Ing. Raffaele CIARDULLO**

Responsabile progettazione interventi naturalistici e paesaggistici P.01: **Arch. Cesare CORFONE**

Responsabile progettazione edile E.19 e E.20: **Arch. Cesare CORFONE**

Archeologo: **Archeol. Simone Giosuè MADEO**

Geologo: **Geol. Giuseppe CERCHIARO**

Direttore operativo Geologia: **Geol. Giovanni DE FAZIO**

Coordinatore per la sicurezza in fase di Progettazione:
Ing. Roberto NUCCI

Progettista e responsabile integrazioni e prestazioni specialistiche:
Ing. Daniele NUCCI

ORDINE INGEGNERI COSENZA – Ingegnere DANIELE NUCCI – Laurea Specialistica – Sezione: A n. 6183 – Settore Civile Ambientale

COMMITTENTE

S.A.CAL. S.p.A
Società Aeroportuale Calabrese
Via Aeroporto - 88046 Lamezia terme(CZ) ITALIA
Tel +39 0968-414212

PH Progettazione

Ing. Stefania RAIMONDO

PH Manutenzione

Ing. Filippo MALAFARINA

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Ing. Matteo MASTROIANNI

Approvazione ENAC

Approvazione ENTI

CODICE ELABORATO: PE_GE_00_REL_01_B

SCALA:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Giugno 2025	PRIMA EMISSIONE	C.Leonetti	G.De Fazio	D.Nucci
00	Luglio 2025	SECONDA EMISSIONE	C.Leonetti	G.De Fazio	D.Nucci

INDICE

1 Premessa 3
1.1 Oggetto e scopo 3
1.2 Metodologie utilizzate 4
1.3 Normativa di riferimento 5
1.4 Descrizione sintetica delle opere 6
2 Inquadramento cartografico 10
3 Quadro geologico generale 13
3.1 Caratteri geolitologici della Stretta di Catanzaro 17
3.2 Assetto geologico rilevato 18
3.3 Elementi tettonico – strutturali, faglie attive e capaci (Progetto ITHACA e Archivio DISS 3.1) 20
4 Geomorfologia 23
4.1 Assetto geomorfologico generale 23
4.2 Approccio metodologico 23
4.3 Caratteri geomorfologici dell'area di intervento 24
5 Idrogeologia 26
6 Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (pai), piano stralcio erosione costiera (psec) e piano gestione rischio alluvioni (pgra) 27
6.1 Piano Stralcio di bacino del distretto idrografico dell'appennino meridionale per l'assetto, la mitigazione e la gestione del rischio alluvioni – UOM CALABRIA (PSdGDAM-RisAL-Cal/L) 35
7 Indagini geognostiche 39
7.1 Sondaggi Geognostici a Carotaggio Continuo 40
7.1.1 Standard Penetration Test 46
7.1.2 Prove di laboratorio 47
7.1.3 Prove di permeabilità LeFranc a carico variabile 48
7.2 Prova Penetrometrica Dimanica media DPM 49
7.3 Indagini Geofisiche 73
7.3.1 MASW 73
7.3.2 Indagine Sismica a Rifrazione con Elaborazione Tomografica 84
7.3.3 Sismica passiva HVSR 97
8 Inquadramento macrosismico 101
8.1 Zona sismica 105

9 Categoria di sottosuolo 108
10 Potenziale di liquefazione 110
11 Spettro di risposta elastica in accelerazione locale 112
11.1 Amplificazione topografica 112
11.2 Amplificazione stratigrafica 112
11.3 Vita nominale 113
11.4 Classe d'uso 113
11.5 Periodo di riferimento dell'azione sismica 114
11.6 Stati limite d'esercizio 114
11.7 Parametri sismici di progetto 115
11.8 Azione sismica locale e spettro di risposta elastico 116
12 Modello geologico-tecnico 119
13 Conclusioni 123
14 Allegato – Verifica a liquefazione - OS1 Attraversamento Torrente Casale 125

1 PREMESSA

Nella presente relazione vengono discussi gli aspetti geologici, idrogeologici, geomorfologici e sismici dell'area interessata dalla progettazione finalizzata alla "Riqualifica ambientale della fascia Nord dell'aeroporto con realizzazione di pista ciclabile per la valorizzazione ecosostenibile della fascia costiera (polo della Vela) e del Lago la Volta", nei comuni di Gizzeria e Lamezia Terme (CZ).

Nel documento viene descritta la campagna di indagine eseguita a valle di una serie di rilevamenti e sopralluoghi tenendo anche conto delle opere da eseguire. La campagna è finalizzata al raggiungimento di un quadro conoscitivo esaustivo, riguardante il modello geologico, idrogeologico, geotecnico e sismico, ovvero tutte le informazioni necessarie a determinare il comportamento dei litotipi affioranti nell'area di progetto.

Dal punto di vista geologico, le opere in programma interessano litotipi costituiti da alluvioni mobili e fissate dalla vegetazione prevalentemente sabbiose e ciottolose e dune e sabbie eoliche sia mobili che stabilizzate. La quota dell'area di progetto varia da circa 1m s.l.m. fino a raggiungere i 10m s.l.m.

Per la redazione del presente studio, una volta eseguita un'approfondita ricerca bibliografica, si è fatto riferimento alla campagna di indagine realizzata, finalizzata alla caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni direttamente interessati dagli interventi, e alla campagna di indagini pregresse svolta in prossimità dell'aeroporto.

La presente relazione si completa con gli elaborati cartografici elencati nella seguente tabella:

ELABORATI		
Codice elaborato	***Titolo/sottotitolo***	***Scala***
PE_GE_00_TAV_01_A	Carta geologica e geomorfologica -TAV 1 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_02_A	Carta geologica e geomorfologica -TAV 2 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_03_A	Carta geologica e geomorfologica -TAV 3 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_04_A	Carta geologica e geomorfologica -TAV 4 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_05_A	Carta geologica e geomorfologica di dettaglio	1:1000
PE_GE_00_TAV_06_A	Carta ubicazione delle indagini geognostiche -TAV 1 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_07_A	Carta ubicazione delle indagini geognostiche -TAV 2 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_08_A	Carta ubicazione delle indagini geognostiche -TAV 3 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_09_A	Carta ubicazione delle indagini geognostiche -TAV 4 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_10_A	Carta di pericolosità sismica - TAV 1 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_11_A	Carta di pericolosità sismica - TAV 2 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_12_A	Carta di pericolosità sismica - TAV 3 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_13_A	Carta di pericolosità sismica - TAV 4 di 4	1:2000
PE_GE_00_TAV_14_A	Sezione geolitologica	1:500

1.1 Oggetto e scopo

Lo scopo della presente relazione è quello di fornire, sulla base della documentazione e delle indagini disponibili, le informazioni necessarie per lo sviluppo della progettazione delle opere.

Il presente documento, redatto attraverso l'ausilio di studi mirati sul territorio permette quindi di:

- Ricostruire dettagliatamente gli aspetti naturalistici del territorio ove è necessario intervenire per la messa in sicurezza;
- Rappresentare ed illustrare le informazioni geologiche, litotecniche, strutturali ed idrogeologiche;
- Riconoscere le principali forme di erosione, di accumulo e più in generale di pericolosità geologica, geomorfologica ed idrogeologica nelle aree limitrofe e/o direttamente interessate da lavori;
- Illustrare gli esiti delle indagini geognostiche;
- Fornire il modello geologico-tecnico da porre a base della progettazione;
- Individuare le interazioni fra le opere ed i terreni fornendo gli elementi per una corretta progettazione geologica, idrogeologica e sismica;
- Individuare la presenza di situazioni tali da determinare vincoli nell'ambito dello sviluppo dell'esecuzione dei lavori.

1.2 Metodologie utilizzate

Il lavoro è stato svolto seguendo una successione coordinata di diverse fasi propedeutiche. In particolare, alla fase preliminare di disamina, che ha visto l'acquisizione di tutte le conoscenze significative sull'area, basata sulla consultazione del materiale disponibile e sull'apposita raccolta di materiale bibliografico, è seguita una fase di studio di dettaglio, consistente in primo luogo nell'analisi foto interpretativa e nel rilevamento di superficie.

I risultati di tale analisi sono stati quindi verificati ed integrati con quelli dall'indagine geologica, costituita dal rilevamento geologico e morfologico di campagna, oltre che dai dati emersi dalla campagna di indagini geognostiche. È stato così possibile definire la distribuzione spaziale dei litotipi, l'individuazione degli elementi strutturali e morfologici, la caratterizzazione degli elementi geologici e idrogeologici significativi per la successiva descrizione geologico-geotecnica. Di seguito sono descritte nel dettaglio le attività sopra descritte per quanto concerne l'approccio metodologico adottato.

Indagine storica e bibliografica: è stata eseguita un'approfondita ricerca bibliografica, condotta presso gli istituti universitari e di ricerca e presso gli enti amministrativi e territoriali interessati dall'opera. In particolare, per quanto concerne l'indagine bibliografica, il materiale consultato è stato reperito presso enti di ricerca (ISPRA, CNR), amministrazioni (Geoportale Regione Calabria e Autorità di bacino Meridionale), in seno a quest'ultimi sono stati anche visionati i vincoli del "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico" (PAI) e del "Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA). Tutte le informazioni sull'assetto geologico-strutturale, idrogeologico, geomorfologico e ambientale ricavate da questa fase di lavoro, hanno garantito una maggiore comprensione dell'assetto territoriale su cui intervenire.

Rilievi di campagna ed analisi foto interpretativa: in base alle informazioni acquisite, sono stati effettuati rilievi di campagna preliminari, per una fascia significativamente ampia (circa 500m cavallo delle opere eseguire), preceduti ed integrati dall'analisi fotointerpretativa. Le informazioni ed i dati raccolti hanno così permesso di approfondire la distribuzione spaziale dei litotipi, il modello geologico-stratigrafico, l'assetto geologico-strutturale e verificare gli elementi geomorfologici caratteristici del territorio; in tal modo è stato possibile definire con maggiore dettaglio, il modello geologico, geomorfologico ed idrogeologico da porre a base del progetto. Tutti i dati raccolti sono stati, poi, confrontati ed integrati con quelli scaturiti dalla campagna indagini eseguita.

Indagini geognostiche: indagini geologiche, geotecniche e geofisiche sono state eseguite nell'attuale

campagna di indagini, allo scopo di definire il modello geologico e geotecnico a base della progettazione. L'ubicazione dei punti d'indagine è stata definita a valle di specifici sopralluoghi, e condotti al fine di verificare il quadro informativo disponibile, approfondire gli studi relativamente a quelle aree e/o aspetti che evidenziavano le maggiori difficoltà o lacune interpretative alla luce dei rilievi di terreno. Per quanto riguarda la tipologia delle indagini sono stati eseguiti sondaggi geognostici e prove penetrometriche dinamiche continue DPM, prospezioni sismiche MASW e prospezioni sismiche a rifrazione con elaborazione tomografica e prove sismiche passive HVSR. Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati per le successive prove di laboratorio e sono state eseguite prove di permeabilità; inoltre gli stessi sono stati attrezzati con tubazione piezometrica per monitorare i livelli di oscillazione della falda.

1.3 Normativa di riferimento

La presente relazione e gli studi ad essa associati sono redatti in conformità a quanto previsto dalla normativa tecnica, fra cui di seguito sono elencati i principali riferimenti:

- L. 08/08/1985 n. 431: "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 27 giugno 1985, n. 312, recante disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale (G.U. 22 agosto 1985, n. 197)";
- L. 08/07/86 n. 349: "Istituzione del Ministero dell'Ambiente e norme in materia di danno ambientale";
- D.M. 11/03/88: "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce...";
- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione". (Pres. Cons. Superiore — Servizio Tecnico Centrale).
- L. 18/05/89 n. 183: "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- D.P.C.M. 23/03/1990: "Atto di indirizzo e coordinamento ai fini della elaborazione e adozione degli schemi previsionali e programmatici di cui all'art. 31 della legge 18 maggio 1989, n. 183, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- L. 07/08/1990 n.253: "Disposizioni integrative alla legge 18 maggio 1989 n. 183, recante norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- L. 06/12/91 n. 394: "Legge quadro sulle aree protette";
- D.P.R. 07/01/1992: "Programmazione attività conoscitive";
- D.P.R. 14/04/1993: "Criteri e modalità per la redazione dei programmi di manutenzione idraulica";
- L. 05/01/1994 n. 37: "Norme per la tutela ambientale delle aree demaniali dei fiumi, dei torrenti, dei laghi e delle altre acque pubbliche L. 5 gennaio 1994, n. 36. Disposizioni in materia di risorse idriche";
- D.P.R. 14/04/1994: "Delimitazione bacini";
- D.P.R. 18/07/1995: "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri

per la redazione dei piani di bacino";

- D.M. 14/02/1997: "Direttive tecniche per l'individuazione perimetrazione, da parte delle regioni delle aree a rischio idrogeologico";
- Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica (1997).
- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).
- D.P.C.M. 29/09/1998: "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180".
- L. 13/07/1999 n. 226 (G.U. 14.07.1999, n. 112): "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto - legge 13 maggio 1999, n.132, recante interventi urgenti in materia di protezione civile." (in vigore dal 15.7.1999);
- D.L. 18/08/2000 n. 258: "Disposizioni correttive ed integrative del D.L. 152/99;
- L. 23/03/2001 n. 93: "Disposizioni in campo ambientale";
- D.P.R 6 giugno 2001 n. 380: "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia";
- D.M. 18/09/2001 n. 468: "Regolamento recante programma nazionale di bonifica e ripristino ambientale";
- D.L. 03/04/2006 n. 152: "Norme in materia ambientale";
- L.R. 11/05/2007 n. 9:" Provvedimento generale recante norme di tipo ordinamentale e finanziario (collegato alla manovra di finanza regionale per l'anno 2007 Art. 3, comma 4, della Legge regionale n. 8/2002)";
- Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al DM 14/01/2008. Circolare 02/02/2009 n° 617 C.S.LL.PP;
- O.P.C.M. 13/11/2010 n. 3907: "Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico";
- DM 17/01/2018: "Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni".

1.4 Descrizione sintetica delle opere

La progettazione prevede:

1) La realizzazione di una biovia con pista ciclabile che colleghi l'aeroporto alla fascia costiera, dove è presente un polo delle attività sportive velistiche e dove è presente un'oasi naturalistica (Lago La Vota).

2) La realizzazione di due fabbricati in legno, ecosostenibili, con la funzione di bike sharing, posizionati in aree strategiche dell'opera:

   - nel sedime aeroportuale, nei pressi dell'attuale accesso carrabile

   - all'inizio del lungomare di Gizzeria Lido, nei pressi del torrente Spilinga.

3) Interventi naturalistici lungo il confine nord dell'aeroporto sulla fascia a ridosso dell'argine del canale Manchetta e del torrente Cantagalli, mediante la realizzazione di un sentiero

pedonale e la piantumazione di essenze sempreverdi di alberi con funzione di riqualifica paesaggistica e di ossigenazione dell'atmosfera.

4) La realizzazione di una stazione ecologica chiusa (centro di raccolta) a disposizione dei servizi aeroportuali sul sedime dell'ex-abitazione del direttore, edificio da demolire.

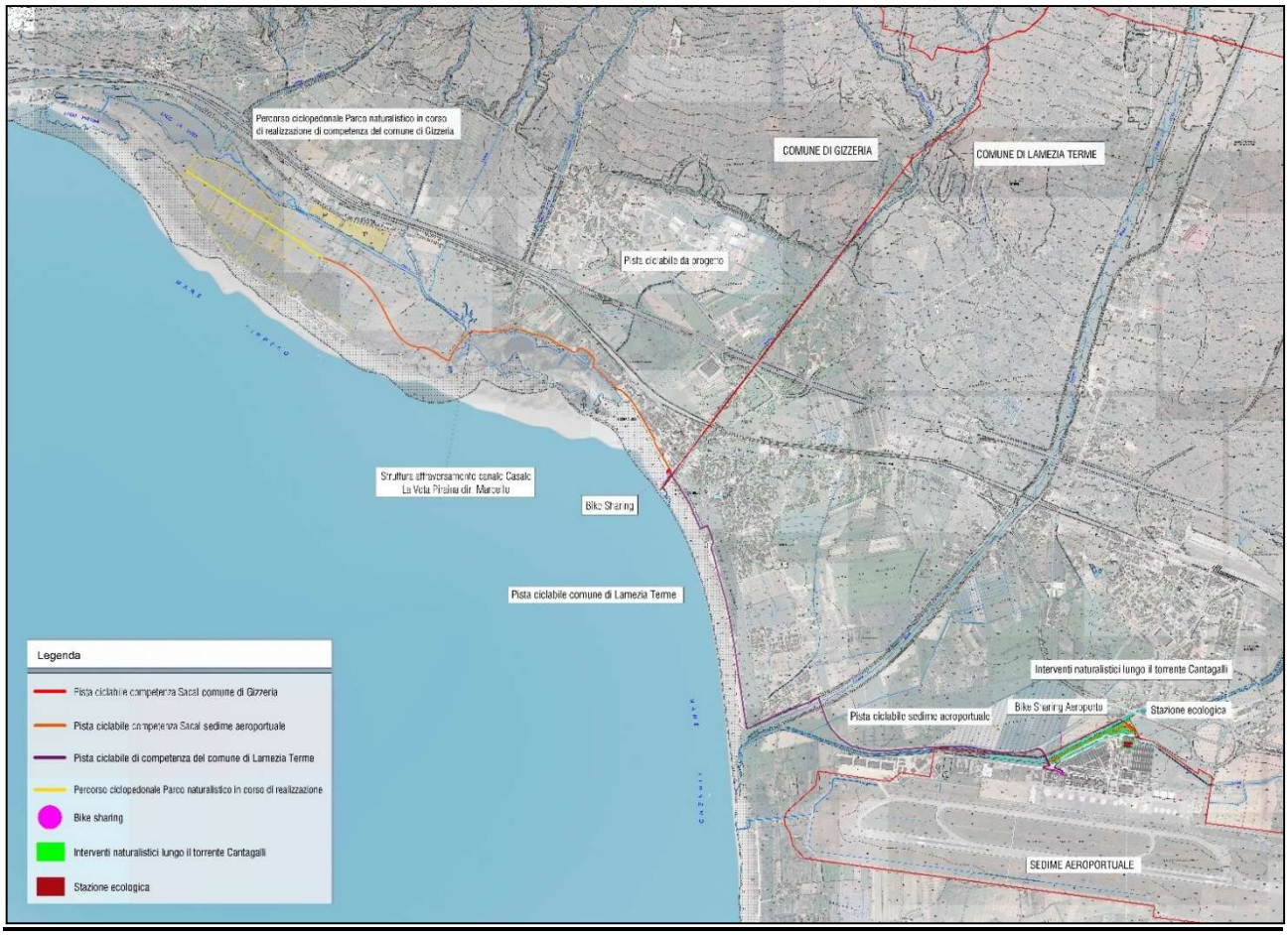


Figura 1.1- Inquadramento delle opere in progetto

La pista ciclabile rappresenta il filo conduttore dell'intero masterplan, collegando l'Aeroporto di Lamezia Terme con la stazione ferroviaria, il mare e l'intero territorio, inclusi il comune di Gizzeria. Il percorso attraverserà contesti urbani e naturali, utilizzando materiali a basso impatto ambientale per garantire la riconoscibilità dell'intervento e ridurre le emissioni, promuovendo l'uso di energie rinnovabili. Il progetto ha una valenza anche dal punto di vista sociale ed economico, con l'obbiettivo di aumentare la potenzialità turistica delle aree, interessate, in particolar modo per l'area naturalistica dei Laghi La Vota.

Il completamento del collegamento tra i due poli agli estremi (Aeroporto e Laghi La Vota) sarà garantito, oltre che dal tratto sopracitato in area naturalistica e da un tratto da rinnovare sul lungomare di Gizzeria Lido, anche da un tratto di pista ciclabile nel comune di Lamezia Terme, non compreso nel presente progetto, ma inserito in un piano di interventi che amplierà l'estensione della ciclovia lametina in diverse aree comunali.

In particolare per il tratto che va dal confine Lamezia Terme-Gizzeria verso l'aeroporto, l'ipotesi è quella che il percorso della pista ciclabile dal lungo mare di Lamezia proceda per la pineta di loc.

Marinella facendo in modo che si colleghi mediante un nuovo attraversamento del piccolo torrente di "Spilinga" (*ipotesi in corso di approfondimento*).

Il tratto di maggiore interesse dal punto di vista ambientale e paesaggistico è sicuramente quello che dal lungomare di Gizzeria collega alla pineta nei pressi della zona protetta dei Laghi La Vota. Il tracciato, costeggiando l'ex porticciolo turistico, ormai in disuso ed insabbiato nel suo sbocco a mare, attraversa un'area paludosa dove il torrente Casale sfocia nel bacino che precedentemente era collegato direttamente al mare. Tale criticità sarà superata con la realizzazione di una passerella pedonale di 30 m, con sovrastruttura costituita da travi in legno lamellare, soletta prefabbricata in c.a. e strato finale composto dal pacchetto utilizzato per il resto della pista e poggiante su due spalle sempre in c.a. poggianti su pali profondi. Per collegare l'estradosso del ponte al resto del tracciato saranno realizzati ai lati due rilevati con struttura in gabbioni.

Per la realizzazione della pista ciclabile, sarà utilizzato un legante-consolidante ecocompatibile per la stabilizzazione di terreni o misti stabilizzati di cava con presenza di argilla, limi, humus. Si tratta di un premiscelato ecocompatibile, specifico per gli interventi di stabilizzazione di inerti granulari naturali, costituito da leganti-consolidanti a base di calci idrauliche e ossidi inorganici ed additivi ad azione inertizzante delle pellicole organiche che circondano le particelle di terreno. Quest'ultime, vengono convertite in sostanze colloidali che contribuiscono alla coesione del conglomerato di base, nonché al miglioramento dell'efficienza e delle prestazioni meccaniche della pavimentazione finita. Lo speciale mix, costituito da materie prime di altissima qualità, accuratamente selezionate e miscelate, in cui sarà certificata l'assenza di radioattività e la non additivazione in fase di produzione con materie seconde provenienti da scarti di altre lavorazioni industriali, consente di legarsi a terre di diverse classi di appartenenza e di apportare un sensibile incremento dei requisiti meccanico-prestazionali dei materiali trattati, durabilità e resistenza ai cicli di gelo/disgelo, mantenendone pressoché inalterato l'aspetto estetico originale, assicurando quindi il più basso impatto ambientale possibile.

I vantaggi di tale soluzione sono:

- Non vi è alcun rilascio di sostanze nocive nel terreno
- È riciclabile
- È classificabile a rifiuto non pericoloso
- Utilizzabile in aree archeologiche in quanto non vi è alcun rilascio di sostanze ritenute aggressive per malte e intonaci.

In determinati punti, una staccionata in legno alternata a filari di alberi ed arbusti delimiterà l'accesso alla pista per le auto e gli altri mezzi non autorizzati

Nel tratto di pista che insiste sul Lungomare di Gizzeria lido, che si estende per una distanza di circa 650 m, è presente un tracciato già realizzato posizionato tra la strada carrabile e le aiuole che insieme al percorso pedonale costituisce il corpo del lungomare. Le dimensioni della sezione del tracciato sono leggermente variabili tra i 2.2 m e 2.5m, configurandosi come minime per la percorrenza ciclabile nel doppio senso di marcia ma comunque accettabili trattandosi di tratti brevi. Le operazioni previste sono semplicemente quelle di scarifica dello strato di usura esistente per uno spessore di 5 cm e quelle di ripristino del tappetino con le stesse dimensioni.

Sarà realizzato un breve tratto di pista ciclabile anche nel sedime aeroportuale, il quale collegherà l'elemento architettonico che ospiterà il bike sharing al ponte carrabile (che sarà realizzato successivamente e non oggetto di questo appalto) e all'area oggetto di intervento tra il canale Manchetta e il torrente Cantagalli. Il progetto del tracciato è stato impostato sulla sagoma della rotatoria prevista

nel Masterplan degli interventi dell'appalto CIS Volare 3. Le modalità costruttive ed i materiali che saranno utilizzati sono analoghi a quelli previsti nel tratto di pista che insiste sul Lungomare di Gizzeria lido.

Verranno realizzati due punti di sosta con servizi di bike sharing in posizioni strategiche del sistema ciclabile. Il primo Bike Point SACAL sarà situato in un'area verde all'interno del land side, vicino all'aerostazione arrivi dell'Aeroporto Sant'Eufemia. Il secondo Bike Point sarà ubicato nella località di Gizzeria, all'ingresso del percorso pedonale sul lungomare.

Con il piano di sviluppo aeroportuale di Lamezia Terme dove si prevedono una serie d'interventi, tra i quali la realizzazione della nuova aerostazione, la S.A.CAL. S.p.A., intende attivare dei servizi commerciali "green", sia in aeroporto sia nel territorio esterno. In quest'ottica risulta di rilevante importanza la creazione di una fascia rinaturalizzata lungo il corso del canale Manchetta e del canale Cantagalli con il preposto di rivalutare ad elevare il livello di naturalità dei due corsi d'acqua, mediante l'incremento della vegetazione. Altro obbiettivo primario, nell'ottica green dell'intervento, è la realizzazione di una stazione ecologica (centro di raccolta) per lo stoccaggio temporaneo dei rifiuti prodotti dai servizi aeroportuali mediante un'area recintata con pannelli del tipo orsogrill, mitigata e ben mitigata da piantumazione a verde.

2 INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

L'area di interesse progettuale appartiene ai comuni di Gizzeria e Lamezia Terme (CZ) e dunque, geograficamente ricadente nella porzione occidentale della Calabria.

Figura 2.1- Inquadramento territoriale dell'area di studio con indicazione del comparto progettuale di interesse (Immagine tratta da Google Earth).

Nell'elaborazione del presente lavoro è stato necessario avvalersi di carte topografiche, tecniche e tematiche ed in particolare, è stata visionata la seguente cartografia:

- Carta Tecnica Regionale, elemento n°574071; 574072 e 574074;
- Carta Geologica della Calabria, scala 1:25.000, Foglio 241 – I N.O. "Nicastro"; Foglio 241 – I S.O. "S. Pietro a Maida Scalo"; Foglio 241 – IV N.E. "Castiglione";
- Elaborati cartografici del piano di Assetto Idrogeologico della Calabria della provincia di Catanzaro:
    - TAV.079–060/1 Carta Inventario dei centri abitati instabili – Cartografia e classificazione dei fenomeni franosi – Comune di Gizzeria, Località il Prato;
    - TAV.079–060/1 Carta Inventario delle frane e delle relative aree a rischio – Perimetrazione delle aree a rischio e/o pericolo di frana– Comune di Gizzeria, Località il Prato;
    - TAV 79160/D – Aree Vulnerate ed elementi a rischio – Comune di Lamezia Terme;
    - TAV 79160/B – Aree Vulnerate ed elementi a rischio – Comune di Lamezia Terme;
    - TAV RI79160/B – Perimetrazione aree a rischio idraulico – Comune di Lamezia Terme;
    - TAV RI79160/D – Perimetrazione aree a rischio idraulico – Comune di Lamezia Terme;
    - TAV 574071_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa del Rischio;
    - TAV 574072_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa del Rischio;
    - TAV 574074_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa del Rischio;
    - TAV 574071_P – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa della Pericolosità;
    - TAV 574072_P – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa della Pericolosità;
    - TAV 574074_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa della Pericolosità.
- Elaborati cartografici del Progetto di Piano Stralcio di Bacino del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale per l'Assetto, la Mitigazione e la Gestione del rischio da Alluvioni – Calabria/Lao – Progetto PSdGDAM_RisAl_Cal_L:
    - **TAV. N. 574074, 574071 e 574072 –** Carta del rischio idraulico (scala 1:5000) – Comuni di Gizzeria e Lamezia Terme (CZ);
    - **TAV. N. 574074, 574071 e 574072** – Carta della pericolosità idraulica (scala 1:5000) – Comuni di Gizzeria e Lamezia Terme (CZ).

Vista l'ampio distribuzione areale delle opere da realizzare, l'intero comparto di interesse progettuale è stato suddiviso in due distinte zona:

- La prima è l'area in cui verrà realizzata la pista ciclabile;
- La seconda zona è quella interessata dalla riqualificazione ambientale della fascia nord dell'aeroporto.

Le coordinate di riferimento dell'area in cui verrà realizzata la pista ciclabile sono le seguenti:

WGS84
Lat: 38.934983
Lon: 16.201016

Le coordinate di riferimento dell'area interessata dalla riqualificazione ambientale della fascia nord dell'aeroporto sono le seguenti:

WGS84
Lat: 38.909815
Lon: 16.247718

Si riporta di seguito uno stralcio della Carta Tecnica Regionale, in scala 1:5000 con l'ubicazione dell'area di intervento.

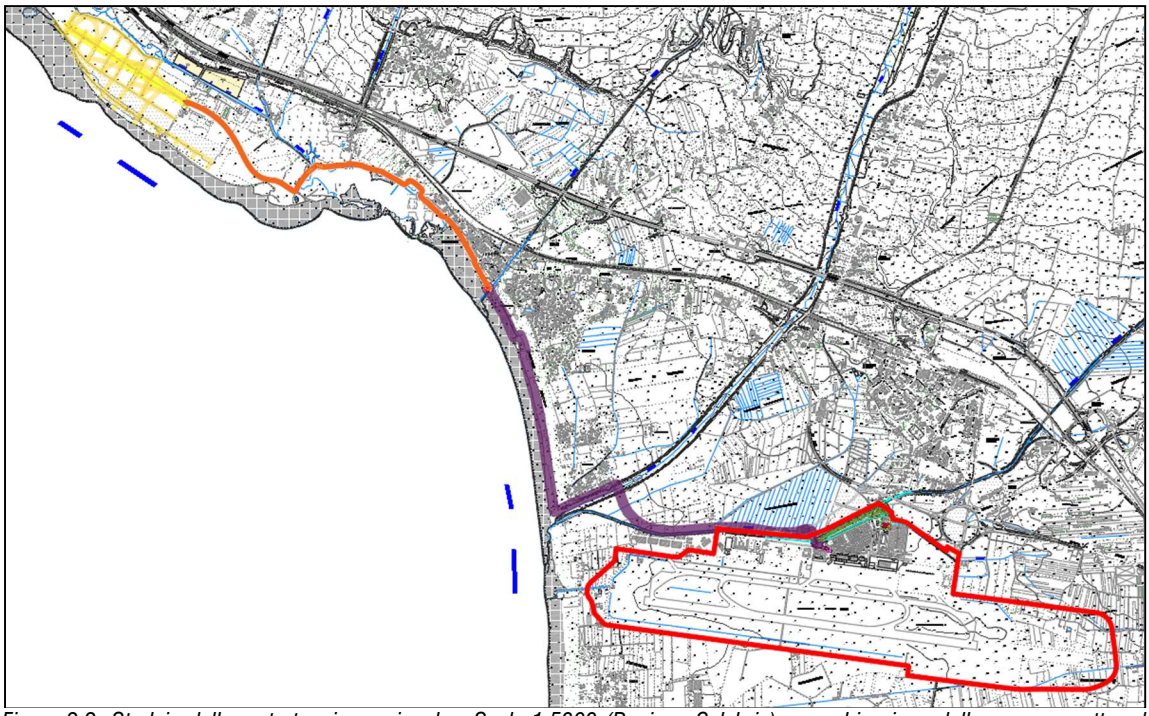


Figura 2.2- Stralcio della carta tecnica regionale - Scala 1:5000 (Regione Calabria), con ubicazione delle aree soggette ad intervento.

3 QUADRO GEOLOGICO GENERALE

L'area in esame si inquadra nel contesto geologico, geomorfologico – strutturale della Stretta di Catanzaro che ricade nel settore meridionale dell'Arco Calabro – Peloritano (Amodio Morelli et alii, 1976), un edificio a falde di ricoprimento costituito da numerose unità tettoniche alpine prevalentemente metamorfiche, sovrascorse sulle unità carbonatiche in seguito alla chiusura del Mare Tetide, con conseguente collisione tra la placca Europea e quella Africana.

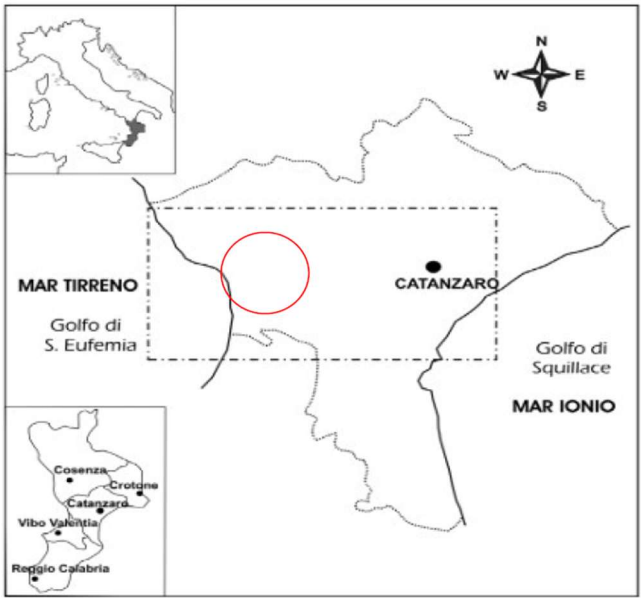


Figura 3.1 - Inquadramento della stratta di Catanzaro con indicazione dell'area in studio.

L'evoluzione tettonica dell'Arco Calabro – Peloritano, infatti, è comunemente riferita alla convergenza tra le placche continentali Eurasia e Africa – Adria, verificatasi durante la consuzione delle litosfere oceaniche Liguro – Piemontese e Ionica, attiva dal tardo Cretaceo (Dercourt et alii, 1986), che ha condotto alla formazione della cintura orogenetica Alpino – Appenninica (Dewey et alii, 1989; Bonardi, 1982).

L'Arco Calabro rappresenta, dunque, l'elemento di catena in un sistema in cui si distinguono diversi sub-domini poiché l'interazione tra le due placche coinvolge blocchi crostali minori e indipendenti tra loro. In particolare, si riconoscono zone di subduzione attiva, di collisione continentale, di margine trascorrente e anche margini di estensione (Serpelloni et alii, 2007).

Il processo di subduzione e di formazione della catena è stato accompagnato dalla progressiva apertura del bacino Ligure-Provenzale a partire dall'Oligocene Inferiore e poi del bacino Tirrenico, a partire dal Langhiano (Carminati et alii,1998) e dalla contemporanea migrazione verso Sud-Est di questa porzione della catena (Malinverno & Ryan 1986; Dewey et alii, 1989).

La storia evolutiva post-oligocenica dell'Arco Calabro Peloritano è caratterizzata da una tettonica sia di tipo trascorrente che estensionale, la quale ha contribuito all'attuale conformazione e disposizione delle unità tettono- stratigrafiche dell'orogene, determinando, inoltre, l'apertura del Bacino di retro-arco Tirrenico (Malinverno & Ryan, 1986, Dewey et alii, 1989; Decandia et alii, 1988).

A partire dal Miocene Medio, l'evoluzione geodinamica dell'orogene calabro è governata da una tettonica prevalentemente trascorrente (Van Dijk et alii, 2000), legata alla progressiva migrazione dell'Arco Calabro verso SE, lungo sistemi di faglia a carattere regionale orientati NO-SE e ONO-ESE,

caratterizzati da movimenti a trascorrenza sinistra e destra, rispettivamente, nel settore settentrionale e meridionale (Ghisetti & Vezzani, 1981; Knott & Turco, 1991; Tansi et alii, 2007). Durante il Neogene-Quaternario, infatti, l'individuazione di zone di taglio crostali, con aree in transtensione e transpressione, determina la dislocazione della catena a falde dell'Arco Calabro Peloritano e condiziona l'apertura e l'evoluzione dei bacini neogenici peritirrenici, determinando l'estrusione tettonica delle unità più profonde della catena.

A partire dal Pleistocene Medio, movimenti estensionali sono indotti da un generale sollevamento della catena (Cello et alii, 1982; Gasparini et alii, 1982; Tortorici et alii, 1995) legati ad una diminuzione della velocità di arretramento della zona di subduzione (D'Agostino et alii, 2004; Goes et alii, 2004; Serpelloni et alii, 2007).

Sono diverse le spiegazioni proposte per giustificare questo rallentamento/arresto. Alcuni autori mettono in relazione il sollevamento quaternario con la rottura e il distacco dello slab ionico in subduzione (Wortel & Spackman 2000). Secondo un'altra interpretazione, la causa è da ricondursi all'interazione tra l'arretramento verso SE dello slab Ionico in subduzione e la convergenza tra Africa e Europa in direzione Nord-Sud, gradualmente verso l'avanfossa e l'avanpaese (Monaco e Tortorici, 2000; Bianca et alii, 2011).

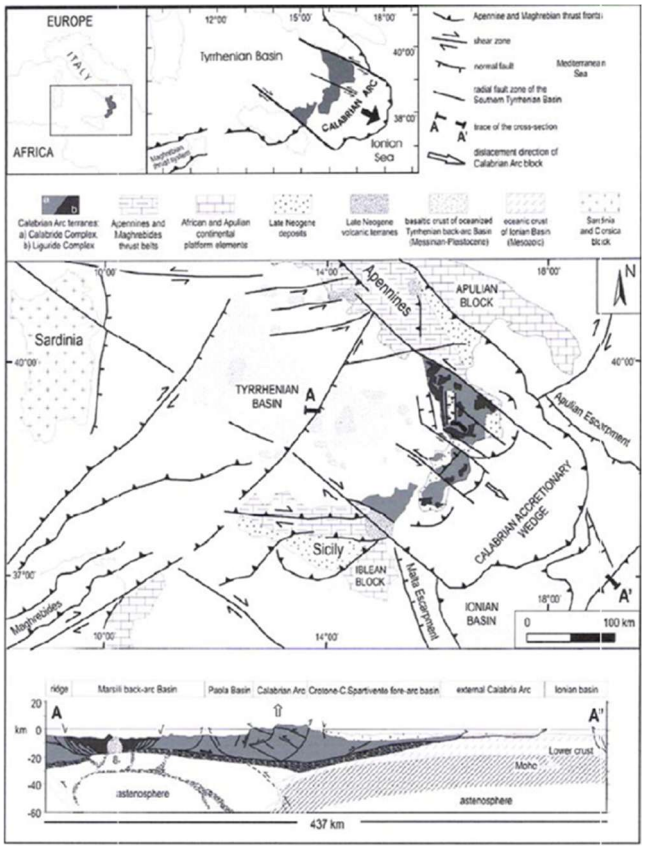


Figura 3.2 - Schema strutturale dell'area del Mediterraneo centrale (da Tansi et alii, 2007).

Per quanto riguarda l'area presa in esame, essa si sviluppa all'interno della porzione meridionale dell'Arco Calabro- Peloritano, che presenta delle differenze peculiari rispetto a quella settentrionale. Le diversità principali che caratterizzano i due settori si riscontrano nelle unità tettono- stratigrafiche che le compongono (Bonardi et alii, 1982): la presenza nel settore settentrionale di unità ofiolitiche, completamente assenti in quello meridionale, di un chiaro raddoppiamento della superficie di

Mohorovicic e di unità carbonatiche appenniniche sottostanti alle unità cristalline; inoltre, le principali deformazioni delle unità cristalline del settore settentrionale sono risalenti al Cretaceo sup., ed hanno polarità europea (mentre quelle del settore meridionale sono comprese tra l'Eocene sup. e l'Aquitaniano, con polarità africana).

Il settore meridionale si estende a S dell'allineamento che da Capo Vaticano si prolunga fino a Soverato comprendendo le Serre, l'Aspromonte ed i Peloritani. È caratterizzato da una serie di unità cristalline che sopportano coperture sedimentarie di età meso-cenozoica che si sovrappongono nell'Oligocene con polarità meridionale. Questo settore rappresenterebbe il dominio più interno della catena siciliano-maghrebide (Tortorici, 1982).

Il settore meridionale è costituito nella sua porzione più profonda, dall'Unità di Longi Taormina che affiora in posizione frontale lungo il margine meridionale, caratterizzato principalmente metamorfiti erciniche: semiscisti con intercalazioni di quarziti, metareniti e metacalcari (Atzori & Vezzani, 1994).

Sopra questa unità troviamo quella di Mandanici che affiora al centro dei Peloritani, composta essenzialmente da filladi con intercalazioni di quarziti e calcari. L'unità geometricamente più elevata di questa porzione è l'Unità dell'Aspromonte, formata da paragneiss e micascisti, mentre nelle Serre e nell'Aspromonte l'unità più bassa e quella di Africo e Cardeto (anche dette Unità della Madonna di Polsi, essenzialmente filladi e scisti), su cui poggia l'Unità dell'Aspromonte.

In posizione apicale nelle Serre meridionali e nell'Aspromonte troviamo l'Unità di Stilo che poggia tettonicamente sull'Unità dell'Aspromonte (Bonardi et alii, 1979) ed è composta prevalentemente da paragneiss, micascisti, anfiboli e filladi con intercalazioni di metareniti e metacalcari di basso grado metamorfico. La copertura, affiorante per lo più sulle Serre, è costituita da una successione calcareo-dolomitica con età Triassica- Cretacea (Roda, 1965; Bonardi et alii, 1980). Sull'edificio a falde si deposita tra l'Aquitaniano e il Langhiano la Formazione arenaceo-conglomeratica di Stilo-Capo d'Orlando, che affiora quasi ininterrottamente dalle Serre fino ai Peloritani (Bonardi et alii, 1980).

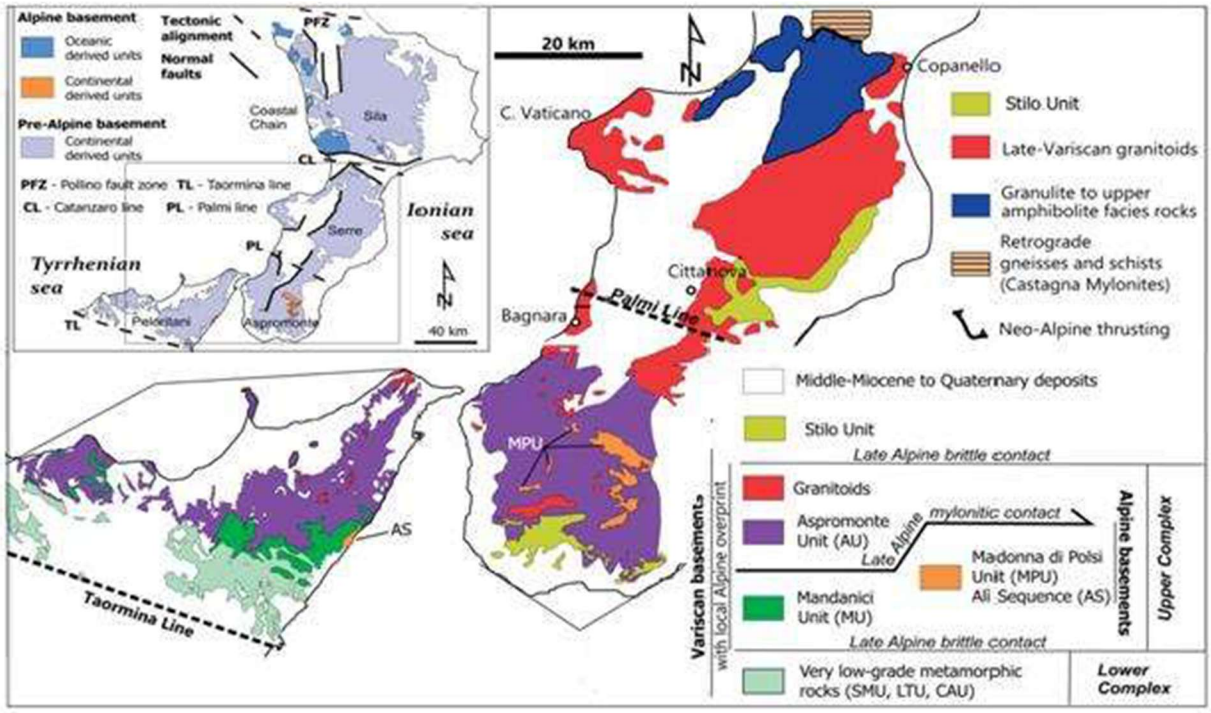


Figura 3.3 - Schema geologico – strutturale del settore meridionale dell'Arco Calabro – Peloritano (da Cirrincione et alii, 2015, modificato).

Da un punto di vista strutturale, nella complessa architettura geodinamica del Mediterraneo la contemporanea presenza della zona di rifting continentale attivo e dell'uplift regionale appare profondamente influenzata dall'evoluzione del piano di subduzione calabrese (slab). Questo assetto geodinamico porta alla formazione di una serie di sistemi di faglie disposti longitudinalmente e trasversalmente rispetto all'Arco Calabro stesso. I sistemi organizzati trasversalmente rispetto alle direttrici strutturali della catena hanno direzioni WNW-ESE, queste interrompono la continuità della stessa, fungendo da svincolo tra le diverse porzioni dell'Arco; mentre i lineamenti strutturali con orientazione compresa tra N-S e NE-SW, sono legati all'apertura dei Tirreno meridionale (Rift Siculo Calabro, Tortorici, et alii, 2000), originatisi durante una delle ultime fasi estensionali pleistoceniche. A queste strutture sono associati forti terremoti storici con magnitudo anche maggiore di 7.0 e che spesso hanno causato fagliazione cosismica in superficie, tsunami e grosse frane (Bianca et alii, 2011, Polonia et alii, 2012).

Questi due diversi sistemi strutturali sono, i principali responsabili dell'apertura di importanti bacini sedimentari nel settore meridionale, disposti longitudinalmente (bacini del Mesima, di Gioia, di Capo Spartivento o Peri-Ionici,) e trasversalmente (stretta di Catanzaro, fossa di Siderno) all'asse della catena calabra. Tali bacini sono delimitati dagli "horst" (alti strutturali) delle Serre e dell'Aspromonte. L'insieme dei blocchi, oltre ad essere troncati in corrispondenza del suo lato occidentale, nella fattispecie dalla Fossa del Mesima, sono interessati da numerose faglie longitudinali che determinano il sollevamento della struttura cristallina Aspromonte-Serre.

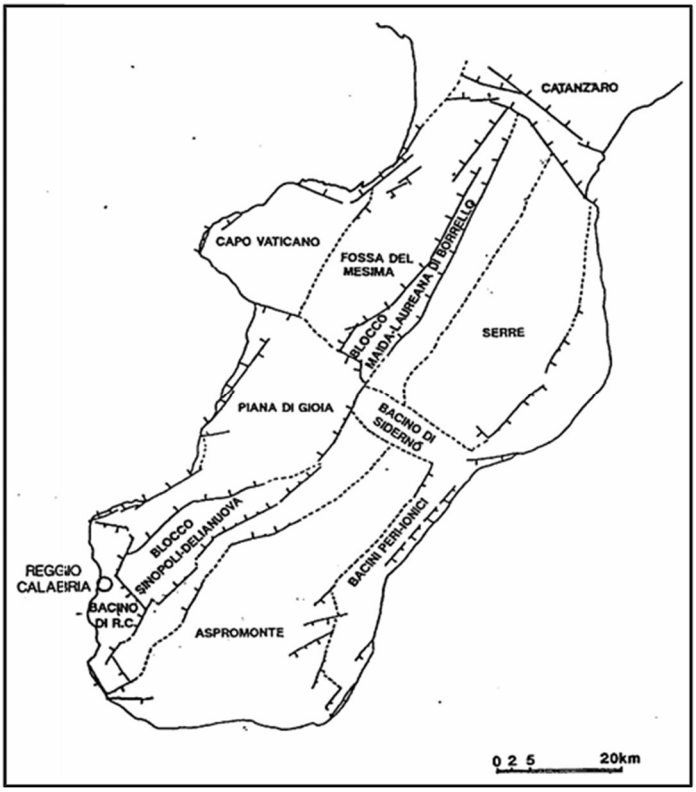


Figura 3.4 - Principali elementi strutturali dell'Arco Calabro Meridionale (da Ghisetti et alii, 1996).

I nuclei centrali delle Serre e dell'Aspromonte costituivano, sin all'inizio del Pliocene inferiore, delle zone emerse, con sviluppo di facies sempre più costiere verso le zone più interne, dove la sedimentazione postorogena è rappresentata solo da depositi tortoniano – messiniano

3.1 Caratteri geolitologici della Stretta di Catanzaro

Facendo riferimento prevalentemente allo studio prodotto dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, "Carta Litologica Strutturale e dei Movimenti in Massa della Stretta di Catanzaro" (Loredana Antronico, Carlo Tansi, Marino Sorriso – Valvo, Giovanni Gullà), la stretta di Catanzaro è una depressione tettonica denominata "graben di Catanzaro" (Tansi et al., 1998). Il graben è colmato da depositi plio – quaternari, esso è stato strutturato da faglie sub-verticali con direzione prevalenti ONO – ESE che evidenziano cinematismi per lo più normali, con una componente di trascorrenza sinistra che talora può diventare predominante. Il graben è interposto tra due horst costituiti da unità cristallino – metamorfiche paleozoiche appartenenti all'Arco calabro – peloritano (Amodio – Morelli et al., 1976) rappresentanti, rispettivamente, dalle propaggini più meridionali dei sistemi Catena Costiera – Altopiano Silano e da quelle più settentrionali del Massiccio delle Serre. Lungo il bordo settentrionale del "graben di Catanzaro", la faglia "Gizzeria—Nicastro-Pianopoli-Marcellinara" rappresenta l'elemento tettonico più rilevante su scala regionale poiché giustappone i litotipi cristallino metamorfici paleozoici del sistema Catena Costiera-Sila ai depositi plio-quaternari: tale faglia solleva le propaggini meridionali cristallino – metamorfiche paleozoiche del sistema Catena Costiera – Altopiano Silano rispetto ai depositi tortoniano-quaternari di riempimento del graben. Le faglie che strutturano il bordo meridionale del graben di Catanzaro sono riconducibili alle direttrici "Jacurso-Copanello" e "Maida-Case San Fantino". Queste due strutture sono responsabili del sollevamento delle metamorfiti paleozoiche dell'Unità di Polia-Copanello rispetto ai sedimenti plio-quaternari di riempimento del graben di Catanzaro. Immediatamente a sud delle suddette faglie, i sistemi predominanti diventano decisamente le faglie estensionali appartenenti al sistema NNE – SSO. L'horst del sistema Catena Costiera – Altopiano Silano, è costituito da rocce cristallino – metamorfiche paleozoiche d'origine alpina riferibili all'Arco calabro-peloritano e da rocce carbonatiche giurassiche appartenenti ad una sottostante catena appenninica neogenica, localmente affioranti in finestra tettonica. Secondo Amodio-Morelli et al. (1976), la catena alpina è strutturata dalla sovrapposizione tettonica di cinque unità rappresentate, dalla più bassa alla più elevata strutturalmente, da:

- Unità del Frido, costituita da rocce metamorfiche di grado da basso a medio, d'origine oceanica d'età cretacea;
- Unità di Gimigliano, costituita da rocce verdi (metabasalti e serpentiniti) d'origine oceanica d'età Giurassico-Cretaceo inferiore;
- Unità di Bagni, costituita da rocce metamorfiche paleozoiche di medio grado, d'origine continentale;
- Unità di Polia-Copanello costituita da gneiss kinzigitici paleozoici d'origine continentale profonda;
- Unità di Castagna costituita da gneiss occhiadini, paragneiss biotitici e micascisti granatiferi.Al di sopra della catena alpina, così strutturata, sovrascorre;
- l'Unità di Stilocostituita da un "basamento" paleozoico (composto da filladi e graniti), ricoperto da rocce carbonatiche, conglomerati ed arenarie del Triassico-Cretaceo superiore.

La sottostante catena appenninica è rappresentata da rocce carbonatiche triassiche appartenenti al Complesso Panormide (Ogniben, 1973). Le varie unità di catena alpina e appenninica su esposte sono ricoperte, in discordanza, da sedimenti terrigeni del Miocene superiore-Pliocene inferiore interessati da trasporto orogenico (Amodio-Morelli et al., 1976) riferibili a due distinti cicli sedimentari (Di Nocera et al., 1974): un ciclo Tortoniano superiore-Messiniano (Miocene sup.-Pliocene med.-sup.), rappresentato da conglomerati a ciottoli di rocce cristalline e calcareniti bioclastiche, ed un ciclo

Messiniano-Pliocene inferiore (Miocene sup.), rappresentato da conglomerati a ciottoli di rocce evaporitiche e calcaree e da sabbie. Su un substrato costituito dalle unità di catena e dai depositi tortoniano- pliocenici, su esposti poggiano le coperture terrazzate d'età pleistocenica, costituite da conglomerati e sabbie d'origine marina e continentale. I terrazzi affiorano a differenti altezze e sono delimitati da inner edges che spesso corrispondono alla base delle scarpate delle principali faglie normali.

Figura 3.5 - Carta litologico – strutturale e dei movimenti di massa della stratta di Catanzaro (CNR – IRP) con indicazione dell'area in esame.

3.2 Assetto geologico rilevato

Lo scopo finale del rilevamento di campagna è stato quello di raccogliere informazioni circa la costituzione geologica dell'area in esame, così facendo è stato possibile definire la natura litologica dei terreni affioranti ed i loro rapporti laterali e verticali, ovvero riconoscendo le diverse unità geologiche, nonché i loro limiti geologici e le principali forme strutturali presenti nell'area.

Il lavoro è stato svolto seguendo una successione coordinata di diverse fasi propedeutiche, partendo da una preliminare raccolta del maggior numero di informazioni sull'area in esame, attraverso il reperimento di carte topografiche, carte geologiche e foto aeree; parallelamente, sono state studiate numerose pubblicazioni scientifiche riferite al territorio di interesse e prima di procedere al rilevamento vero e proprio, si è proceduto con l'analisi fotointerpretativa al fine di riconoscere i lineamenti principali e di ottenere indicazioni geolitologiche, dedotte dalla conformazione geomorfologica del territorio.

Complessivamente, il rilevamento geologico di campagna, al termine del quale è stata redatta la cartografia geologica, è stato condotto al fine di ricostruire i rapporti tra le formazioni geologiche individuate, nonché i loro limiti stratigrafici e tettonici. Tutti i dati raccolti sono stati integrati e confrontati con quelli acquisiti dalla campagna indagini.

Il territorio nel quale ricadono i siti di interesse progettuale è caratterizzato dalla presenza di dune e

sabbie eoliche sia mobili che stabilizzate, depositi alluvionali fissati e da alluvioni mobili.

Di seguito vengono descritte e unità rilevate nell'area interessata dagli interventi in progetto:

Depositi alluvionali (ac e af): L'ampia piana che si sviluppa dalle pendici collinari sino alla linea di costa è sede di estesi depositi alluvionali di rilevante spessore, trasportati dai corsi d'acqua attraverso una continuazione erosiva nella parte montana dei loro alvei e depositati nella suddetta piana ove la rapida riduzione di pendenza ha smorzato l'energia di trasporto. La piana è quindi formata dalla coalescenza di numerose conoidi di deiezioni, di età pleistocenica, posizionate al termine dei numerosi corsi d'acqua ivi confluenti. I materiali alluvionali sono formati da clasti eterometrici, da subangolari ad arrotondati, di rocce metamorfiche. Questi depositi sono altamente stabilizzati e dotati di elevata permeabilità per porosità. A tratti la continuità di affioramento delle conoidi è interrotta da depositi alluvionali recenti, da ricondurre ad episodi di esondazione avvenuti nel tardo olocene e nell'attuale. I depositi di alveo fluviale, in particolare, vengono distinti in mobili e fissati dalla vegetazione. Nella fascia di piana più vicina alla costa, esternamente ai depositi alluvionali di tipo deiettivo, sono ancora presenti depositi alluvionali ma a granulometria più fine, variabile dalle sabbie ai limi ed ai limi argillosi, che in profondità passano a depositi ghiaioso – sabbioso – ciottolosi.

Depositi eolici (d1 e d2): La fascia di territorio comunale prossima alla linea di costa è costituita da una serie di depositi sabbiosi di genesi eolica, che hanno assunto un aspetto duniforme. Trattasi di materiali di origine clastica granulari, di assortimento granulometrico molto limitato, dotati di grado di addensamento medio e crescente con la profondità.

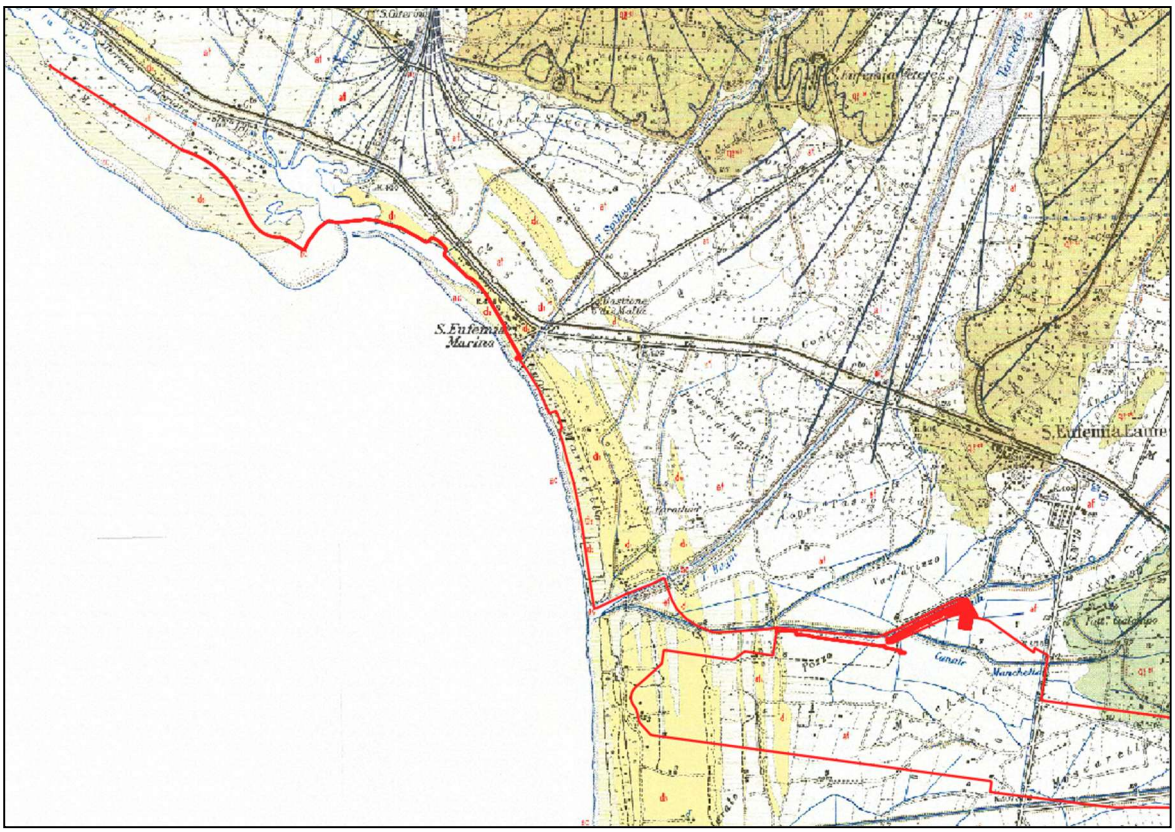
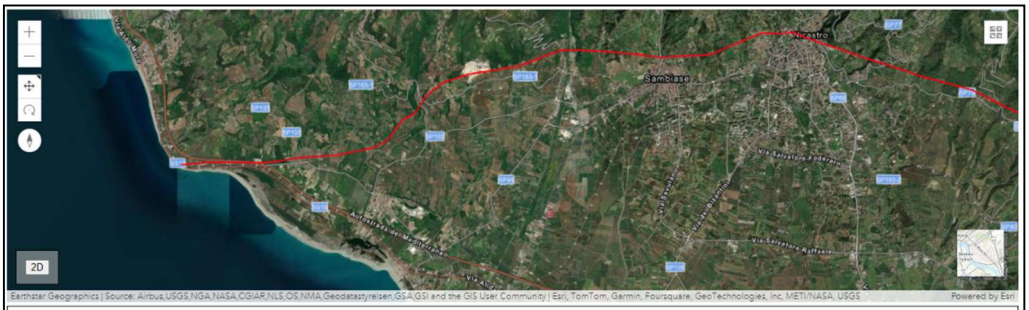


Figura 3.6 - Carta Geologica della Calabria, scala 1:25.000, Foglio 241 – I N.O. "Nicastro"; Foglio 241 – I S.O. "S. Pietro a Maida Scalo"; Foglio 241 – IV N.E. "Castiglione" con indicate le aree di intervento.

3.3 Elementi tettonico – strutturali, faglie attive e capaci (Progetto ITHACA e Archivio DISS 3.1)

La Calabria è la regione in Italia nella quale si sono verificati i terremoti di più elevata intensità ed energia. Il grado di distruzione raggiunto in occasione degli eventi del 1783 e del 1908 è in assoluto uno tra i più elevati in tutta l'area mediterranea. La quasi totalità dei terremoti calabresi noti è avvenuta, però, solo a partire dal XVII secolo, con un'esiziale sequenza che dal 1638 al 1908 ha devastato prevalentemente la parte tirrenica della penisola, da nord verso sud. Le aree di interesse per il presente progetto come riportato nel catalogo ITHACA risultano prossime a due faglie attive e capaci, ovvero la Faglia Nicastro e la Faglia Zinnavo.

La Faglia Nicastro, che dista circa 200m dall'inizio della pista ciclabile è una faglia con cinematismo normale obliquo sinistro. Sul catalogo ITHACA la faglia viene contraddistinta con codice 35800 "Nicastro".



Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	35800
Fault Name	Nicastro
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	Lamezia - Catanzaro System
Synopsis	
Rank	Primary

Figura 3.7 – Visualizzazione della faglia attiva e capace "Nicastro"

La Faglia Zinnavo, che si sviluppa parallelamente alla pista ciclabile di nuova realizzazione ad una distanza poco inferiore ad un chilometro, è una faglia con cinematismo normale. Sul catalogo ITHACA viene contraddistinta con codice 35208 "Zinnavo".

Fault description

GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	35208
Fault Name	Zinnavo
Region Name	Calabria
Tectonic Environment	ND
System Name	Fuscaldo-Falerna
Synopsis	
Rank	Primary

Figura 3.8 – Visualizzazione della faglia attiva e capace Zinnavo.

L'archivio DISS 3.1 (INGV) raccoglie le sorgenti sismotettoniche del territorio nazionale catalogandole come sorgenti singolari o in zone complesse, sulla base di tale archivio il territorio in esame si trova in una zona tettonica molto attiva

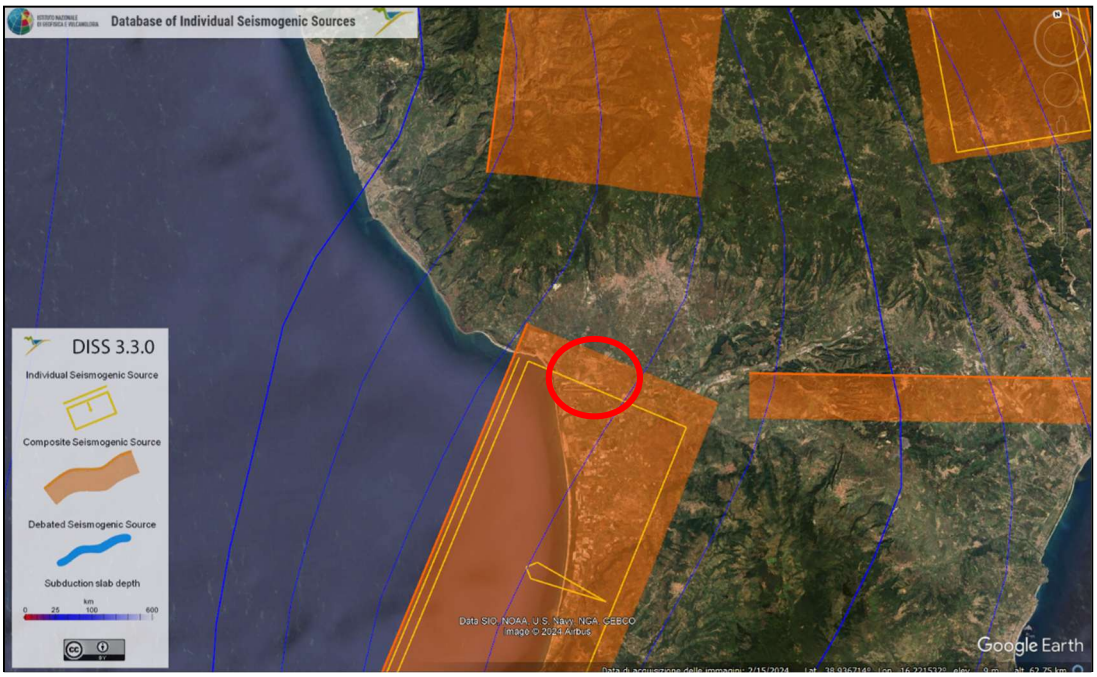


Figura 3.9 – Schema delle strutture tettoniche sismogenetiche composite e singolari presenti in Calabria, con indicazione dell'area di interesse (fonte INGV).

Parte dell'area di interesse progettuale ricade all'interno della zona sismogenetica IT S D001 Calabrian Arc.

Le immagini realizzate per i settori sopra menzionati riportano le tracce delle espressioni superficiali

delle faglie attive o possibilmente attive; in generale le linee tracciate interpolano le evidenze geologico-strutturali e geomorfologiche di attività recente, talora molto discontinue lungo una determinata struttura. Pertanto, per motivi di scala, la rappresentazione della geometria di superficie delle faglie risulta semplificata rispetto a quella, anche molto complessa, derivabile dalle osservazioni sul campo.

La semplificazione in parte è lo specchio del livello di conoscenze disponibili per i vari settori. Nel caso in cui i dati disponibili consentano di formulare ipotesi attendibili, sarà possibile rappresentare segmenti di faglia continui che approssimano l'emergenza delle strutture sismogenetiche. Informazioni più lacunose hanno fatto preferire una rappresentazione del dato più prossima all'osservazione di campagna; l'espressione del segmento di faglia riportato può essere in questi casi notevolmente frammentata.

4 GEOMORFOLOGIA

4.1 Assetto geomorfologico generale

Il territorio in esame può essere schematicamente diviso in tre ambiti morfologici principali, il medio e l'alto versante, le zone debolmente acclivi o pianeggianti della piana alluvionale e la fascia costiera, dove ricadono le varie zone di interesse progettuale.

Il paesaggio collinare e montano è intagliato da una serie di corsi d'acqua ad andamento subparallelo, con ampi bacini imbriferi. I più importanti, da ovest verso est sono: Zinnavo, Bagni, Cantagalli, Piazza e Canne. Questi torrenti hanno svolto un'intensa attività erosiva e di trasporto solido nei tratti montani, depositando nei tratti di pianura una grande quantità di materiale clastico che ha formato una serie di conoidi intersecantesi tra loro che occupano una vasta area territoriale appartenente alla fascia pedecollinare. A sud di questa fascia inizia la piana alluvionale "bassa" che ricade nel dominio degli alvei del fiume Amato e del Bagni-Cantagalli. Questa Piano Strutturale Comunale piana ha un aspetto morfologico decisamente diverso da quello di conoide, in accordo con il trasporto solido decisamente meno grossolano. Il paesaggio costiero è caratterizzato invece da una serie di dune eoliche prospicienti la linea di costa.

Nel settore del medio ed alto versante collinare ed anche nei fianchi vallivi della parte più interna delle piane alluvionali, è evidente una marcata fragilità morfologica, con dinamiche di dissesto strettamente collegate al deflusso delle acque superficiali ed all'azione della gravità, con marcata suscettibilità a fenomeni di tipo superficiale.

L'origine di questa fragilità è riconducibile sia alla natura litologica delle rocce affioranti sia alle condizioni climatiche locali, caratterizzate, come già evidenziato, da precipitazioni di breve durata e forte intensità. L'instabilità del territorio collinare e montano è di vario ordine e grado, dal soliflusso al creep fino a forme di dissesto più complesse, estese e profonde, a carico della coltre detritica di alterazione e delle fasce della formazione filladica più intensamente fratturate. In molti casi i fenomeni gravitativi appaiono ormai esauriti o stabilizzati mentre in altre situazioni i movimenti franosi si trovano in una fase di quiescenza con chiari segni di predisposizione alla riattivazione, ad esempio in occasione di eventi meteorici intensi e prolungati o sollecitazioni sismiche.

Il processo di dissesto è inoltre favorito dalla ramificazione del reticolato idrografico minore, che si trova esso stesso in condizioni di dissesto a causa anche della complessiva assenza di un'efficace gestione e manutenzione idraulica delle aree extraurbane.

4.2 Approccio metodologico

Il rilevamento geomorfologico ha avuto principalmente come scopo quello di individuare eventuali criticità interferenti con l'areale di progetto, attraverso l'individuazione di elementi e forme del paesaggio che possano favorire fenomeni di dissesto di varia natura.

Il rilevamento geomorfologico ha avuto inizio a partire da ricerche preliminari, atte a raccogliere il maggior numero di informazioni sull'area di interesse e durante le quali sono state reperite carte topografiche, immagini telerilevate, studi, pubblicazioni scientifiche e relazioni tecniche. Successivamente, l'acquisizione di dati, elementi ed informazioni di tipo geomorfologico è avvenuta sia attraverso osservazioni dirette di terreno, sia attraverso l'esame di foto aeree, ortofoto ed immagini satellitari (Linee guida al rilevamento geomorfologico del Servizio Geologico Nazionale, 1994).

4.3 Caratteri geomorfologici dell'area di intervento

L'area di studio strettamente di interesse è situata in corrispondenza della fascia costiera per quanto concerne la realizzazione della pista ciclabile e nella zona della piana alluvionale per quanto concerne gli interventi di riqualificazione ambientale della fascia nord dell'aeroporto. Più in generale l'area interessa i comuni di Gizzeria e di Lamezia Terme, in una zona sub-pianeggiante.

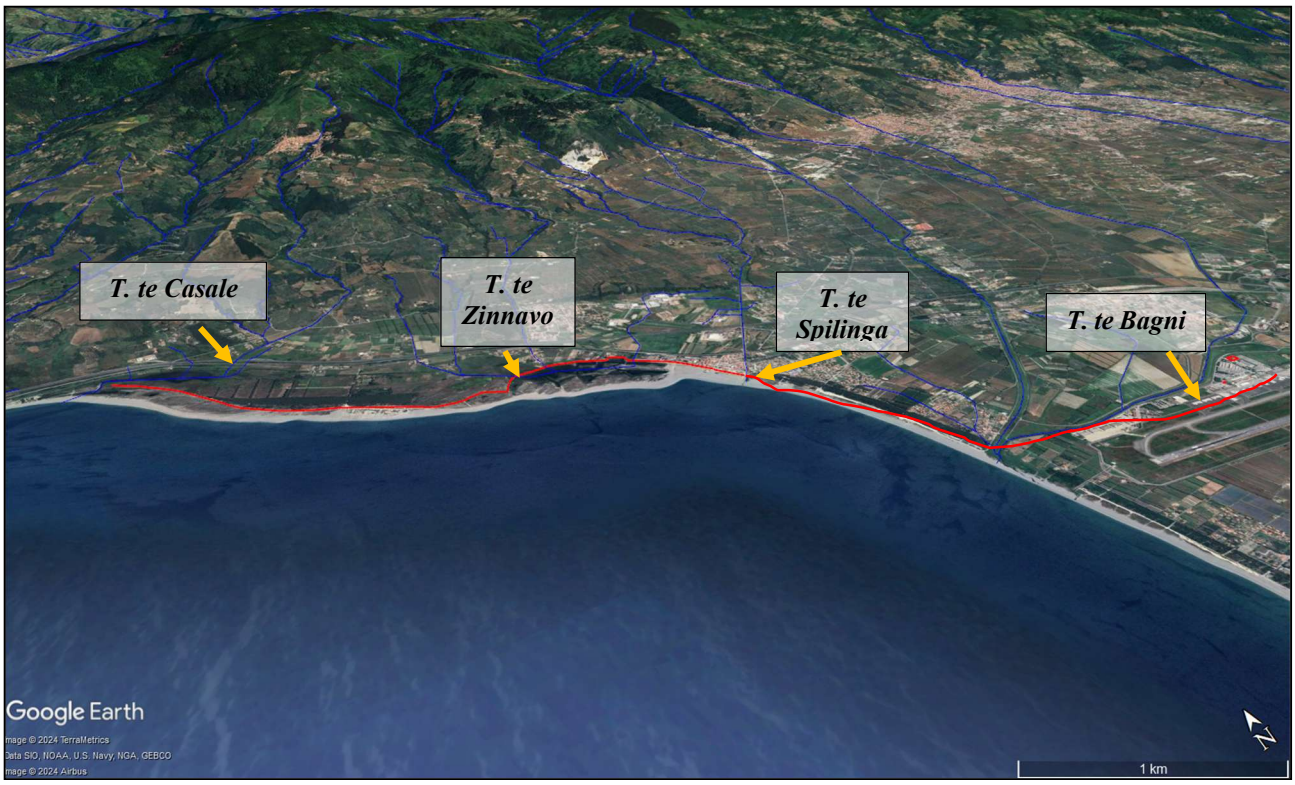


Figura 4.1 – Inquadramento territoriale dell'area di studio con indicazione del comparto progettuale di interesse (Immagine tratta da Google Earth).

L'area è caratterizzata da un decremento delle quote da Nord verso Sud, fino a raggiungere la quota di massima di circa 10m s.l.m. nella zona dell'aeroporto e mediamente di 2m s.l.m. nell'area in cui verrà realizzata la pista ciclabile. La parte dell'area costiera in cui verrà realizzata la pista ciclabile sorge su un'area di transizione generata da dinamiche marine (depositi litorali) e continentali (depositi alluvionali); mentre la zona nord dell'aeroporto sorge esclusivamente su depositi continentali (depositi alluvionali). L'area di interesse progettuale presenta in generale una morfologia subpianegiante impostata in zone prossime alle foci di numerosi torrenti quali T.te Casale, T.te Zinnavo; T.te Spilinga e T.te Bagni.

In generale il settore della piana alluvionale è essenzialmente legato al modellamento operato dai torrenti in occasione di fenomeni di piena straordinaria. Per le caratteristiche geologiche dei bacini e per le modalità con cui si verificano gli eventi (lunghi periodi di magra che evolvono in piene improvvise a seguito di violenti nubifragi), gli alvei risultano in gran parte sovralluvionati per effetto del cospicuo trasporto solido che si realizza in queste circostanze.

In linea di massima il comparto di interesse progettuale si imposta in un'area dove non sono presenti particolari criticità geomorfologiche, di fatti, grazie anche alla morfologia pianeggiante non sono stati osservati fenomeni franosi o erosivi, così come mancano processi di dilavamento o altre forme di dissesto.

Parte dell'area in cui verrà realizzata la pista ciclabile nel territorio comunale di Gizzeria ricade è caratterizzata dalla presenza di laghetti di acqua salmastra, "Laghi La Vota" presenti lungo un tratto di 4km lungo la costa tirrenica compreso fra Capo Suvero e Gizzeria Lido (circa 200 ettari). Il sito è caratterizzato dalla presenza di un insieme di laghi di acqua salmastra così identificati: La Vota che è il lago più grande, La Vota Piccola che è poco più che una pozza e La Vota Piraina, nei pressi dell'abitato di Gizzeria Lido, collegata al mare permettendo il deflusso delle acque. Negli anni ottanta si è formato un nuovo laghetto, detto La Vota Nuova e nel 2006 si è formato un ulteriore lago. Proprio grazie al collegamento con il mare, La Vota Piana (o meglio conosciuto come Maricello) è stato usato fino a poco tempo fa come piccolo porto naturale. I laghi sono separati tra loro da dune di sabbia di diversa ampiezza che si estendono per circa 5km. Nell'ultimo secolo la conformazione die bacini è mutata a causa dei processi di interrimento, di erosione e di progradazione costiera, nonché alle opere di bonifica idraulica avviate fin dai primi decenni del novecento.

Il processo di formazione di questo complesso di laghi è dovuto alla presenza di Capo Suvero ed alla deriva litorale dei sedimenti provenienti da settentrione. Le correnti di marea trasportano il loro carico di sedimenti lungo la costa giungendo sino a Capo Suvero, e poi tendono a disperdersi nel Golfo di S. Eufemia. Ne risulta la deposizione degli stessi, che nel tempo hanno formato dei cordoli litorali ortogonali e paralleli alla costa, con lagune tra di esse e la costa preesistente.

Le lagune vengono gradualmente colmate da alluvioni portate dai fiumi e da materiale di trasporto eolico. Gli ecosistemi delle coste sabbiose sono esposti ad una elevata dinamica di modificazione. Alla complessità dei sistemi precedentemente descritti si aggiunge un altro elemento, cioè quello del pesante intervento antropico che caratterizza il territorio costiero.

5 IDROGEOLOGIA

I fattori che condizionano la circolazione idrica sotterranea sono molteplici, ma tutti riconducibili alle caratteristiche idrologiche dei litotipi affioranti.

Le proprietà idrogeologiche dei litotipi affioranti nell'areale di progetto sono state stimate in fase di rilevamento in maniera qualitativa, sulla base dell'osservazione di quegli elementi riscontrabili alla scala dell'affioramento; com'è noto, le proprietà idrogeologiche dei terreni valutabili qualitativamente durante le fasi di rilevamento di campagna sono: tipo di permeabilità, identificabile nella natura genetica dei meati, primaria (porosità) e/o secondaria (fessurazione), che maggiormente concorre a determinare la permeabilità del corpo geologico; grado di permeabilità relativa, definibile qualitativamente mediante le categorie di elevato, medio, scarso e impermeabile a cui sono associabili ampi intervalli di variazione del valore della conducibilità idraulica, estesi su differenti ordini di grandezza (Civita, 1973; Bureau of Reclamation, 1985; Celico, 1988).

Nel comparto di interesse progettuale, in relazione alle caratteristiche idrogeologiche dei litotipi affioranti è stato identificato un unico complesso idrogeologico, riportato e descritto nella tabella seguente:

Complesso idrogeologico	***Grado di permeabilità***	***Conducibilità idraulica (cm/s)***
Sabbioso – Conglomeratico	Medio - Alto	$10^{-1}<K<10^{-3}$

Tabella 5-1 – Grado di permeabilità e conducibilità idraulica del complesso idrogeologico presente nell'area di interesse dedotto da prove di permeabilità in foro eseguite nei due sondaggi effettuati.

Complesso Sabbioso – Conglomeratico: Tale complesso è rappresentato è costituito da materiali alluvionali i tipo deiettivo, nella porzione di interesse progettuale sono presenti depositi alluvionali ma a granulometria più fine, variabile dalle sabbie che in profondità passano a depositi ghiaioso – sabbioso – ciottolosi.

Inoltre, nella stessa area sono presenti depositi sabbiosi di genesi eolica, che hanno assunto aspetto duniforme. Si tratta di materiale di origine clastica granulare, dotato di grado di addensamento medio e crescente con la profondità

Dal punto di vista idrogeologico i sondaggi geognostici a carotaggio continuo hanno permesso di riscontrare la presenza di una falda idrica superficiale a circa 0.5cm a partire dal p.c. Vista la morfologia dell'area e la presenza di zona con laghetti il valore della falda si attesta a piano campagna.

6 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI), PIANO STRALCIO EROSIONE COSTIERA (PSEC) E PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (in seguito denominato PAI), approvato con Delibera di Consiglio Regionale n.115 del 28.12.2001 (approvazione/adozione del PAI) e Delibera n.20 del 31.07.2002 (approvazione/adozione Linee Guida PAI), ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e di pianificazione mediante la quale programmare le azioni e le norme d'uso finalizzate alla salvaguardia delle popolazioni, degli insediamenti, delle infrastrutture e del suolo.

Il PAI persegue l'obiettivo di garantire al territorio di competenza del Distretto Appennino Meridionale e dell'ex Autorità di Bacino della Calabria, adeguati livelli di sicurezza rispetto all'assetto geomorfologico, relativo alla dinamica dei versanti e al pericolo di frana, all'assetto idraulico, relativo alla dinamica dei corsi d'acqua e al pericolo di inondazione e all'assetto della costa, relativo alla dinamica delle linee di rive e al pericolo dell'erosione costiera.

Per ciascuna categoria di rischio (rischio di frana – rischio inondazione – rischio di erosione costiera), all'Art. 8 comma 5 delle Norme di Attuazione, vengono definiti quattro livelli: R4: rischio molto elevato (in rosso); R3: rischio elevato (in arancio); R2: rischio medio (in verde); R1: rischio basso (in giallo).

Dall'adozione del PAI le Amministrazioni, gli Enti pubblici, nonché i soggetti privati, sono immediatamente vincolati alle prescrizioni fatte limitatamente alle aree perimetrate negli allegati.

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) è previsto dalla Direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. 'Direttiva Alluvioni') e mira a costruire un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali, al fine di ridurre le conseguenze negative nei confronti della salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche. Nell'ordinamento italiano la Direttiva è stata recepita con il D.Lgs. n. 49/2010 che ha individuato nelle Autorità di bacino distrettuali le autorità competenti per gli adempimenti legati alla Direttiva stessa e nelle Regioni, in coordinamento tra loro e con il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile, gli enti incaricati di predisporre ed attuare, per il territorio del distretto a cui afferiscono, il sistema di allertamento per il rischio idraulico ai fini di protezione civile.

Il PGRA fa riferimento a quattro obiettivi specifici condivisi a livello nazionale: Salvaguardia della vita e della salute umana; Protezione dell'ambiente; Tutela del patrimonio culturale; Difesa delle attività economiche. Le mappe del PGRA non sono dotate di un sistema di Norme di attuazione vincolistico sul territorio ma, per la specificità del Piano, ad esse è associato un programma di misure, costituite da azioni di svariata natura, da attuarsi sul territorio a cura degli Enti istituzionalmente competenti. ll PGRA si pone quale strumento dinamico ed innovativo per la gestione strategica delle aree a rischio da alluvioni, a scala distrettuale, all'interno del quale devono necessariamente confluire le previsioni dei vigenti Piani Stralcio. Si precisa, pertanto, che, ai fini dell'applicazione delle discipline di Piano vigenti in materia di rischio idraulico (PGRA e PAI), le mappe di pericolosità a cui fare riferimento sono quelle contenute nei rispettivi Piani, che vengono, comunque, costantemente aggiornate, in coerenza tra loro, insieme al quadro conoscitivo.

Per l'analisi dell'area di intervento sono state consultate le seguenti cartografie:

- TAV.079–060/1 Carta Inventario dei centri abitati instabili – Cartografia e classificazione dei fenomeni franosi – Comune di Gizzeria, Località il Prato;
- TAV.079–060/1 Carta Inventario delle frane e delle relative aree a rischio – Perimetrazione delle aree a rischio e/o pericolo di frana– Comune di Gizzeria, Località il Prato.

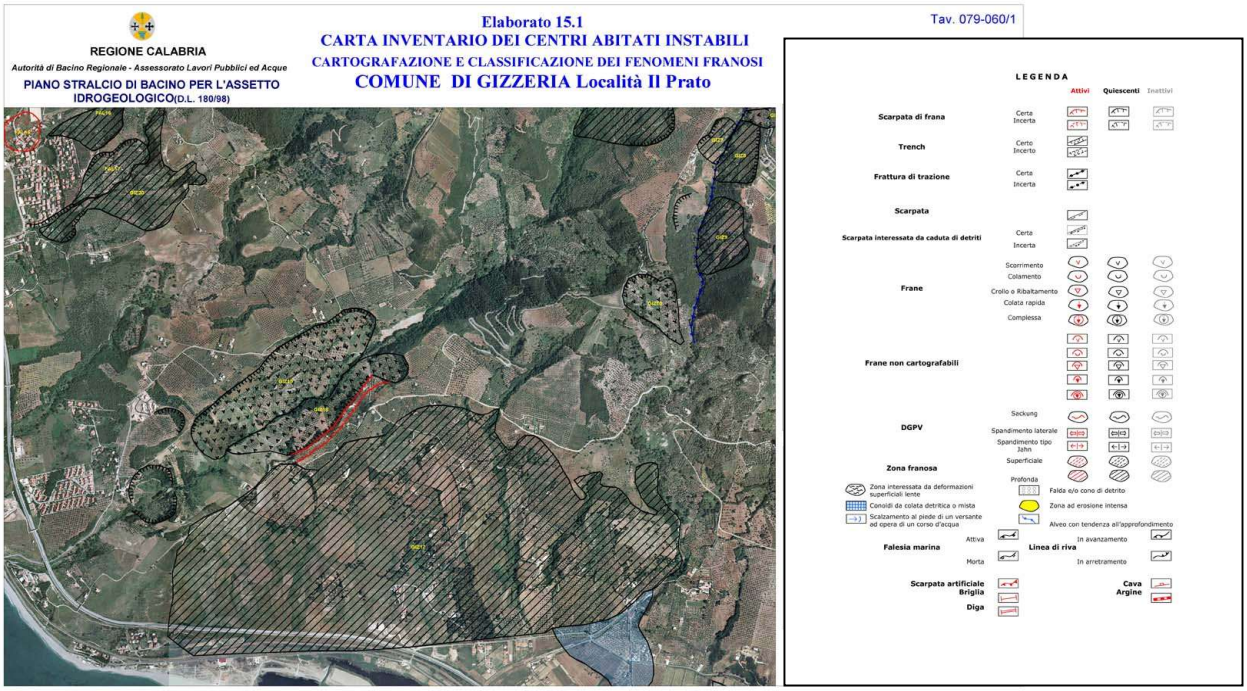


Figura 6.1 – Stralcio fuori scala della TAV. .079–060/1 Carta Inventario dei centri abitati instabili – Cartografia e classificazione dei fenomeni franosi – Comune di Gizzeria, Località il Prato.

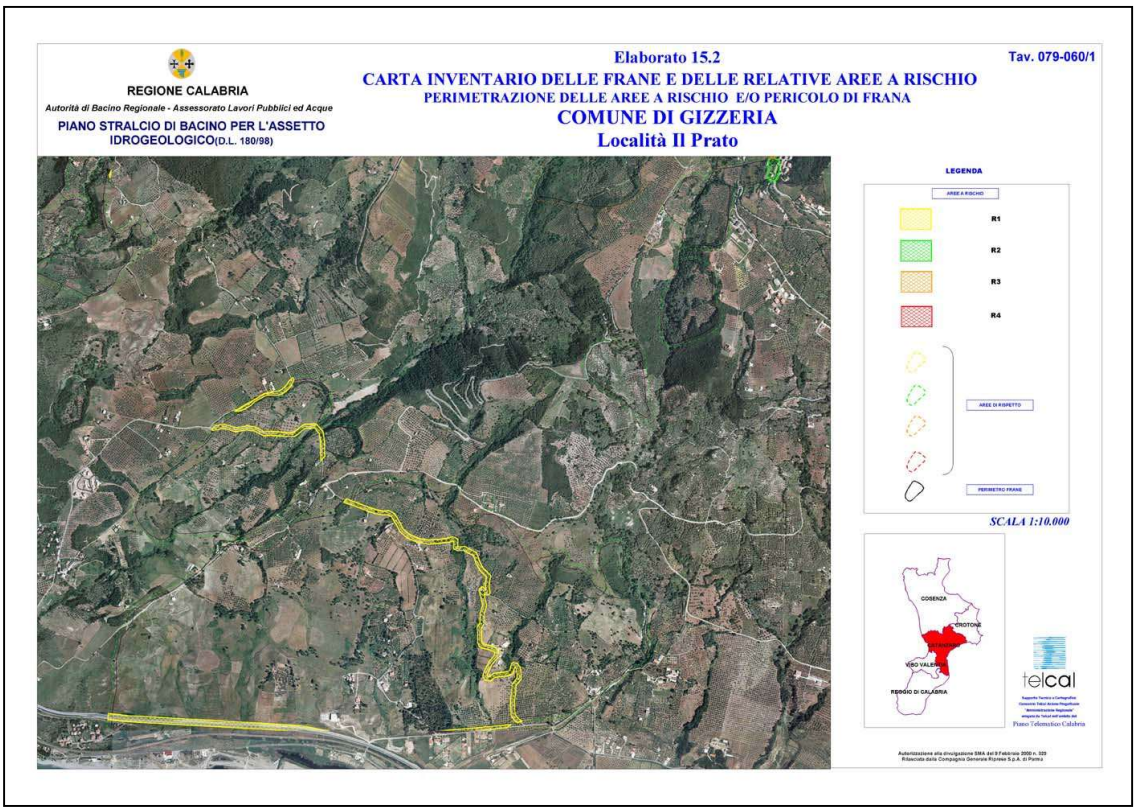


Figura 6.2 – Stralcio fuori scala della TAV. 079–060/1 Carta Inventario delle frane e delle relative aree a rischio – Perimetrazione delle aree a rischio e/o pericolo di frana– Comune di Gizzeria, Località il Prato.

Dalle tavole sopra riportate si deduce come l'area oggetto dell'intervento non sia interessata da alcun tipo di fenomeno gravitativo e non si riconoscono pertanto aree a rischio.

Per quanto riguarda le aree sottoposte a rischio idraulico, sono state consultate le seguenti cartografie:

- TAV 79160/D – Aree Vulnerate ed elementi a rischio – Comune di Lamezia Terme;
- TAV 79160/B – Aree Vulnerate ed elementi a rischio – Comune di Lamezia Terme;
- TAV RI79160/B – Perimetrazione aree a rischio idraulico – Comune di Lamezia Terme;
- TAV RI79160/D – Perimetrazione aree a rischio idraulico – Comune di Lamezia Terme.

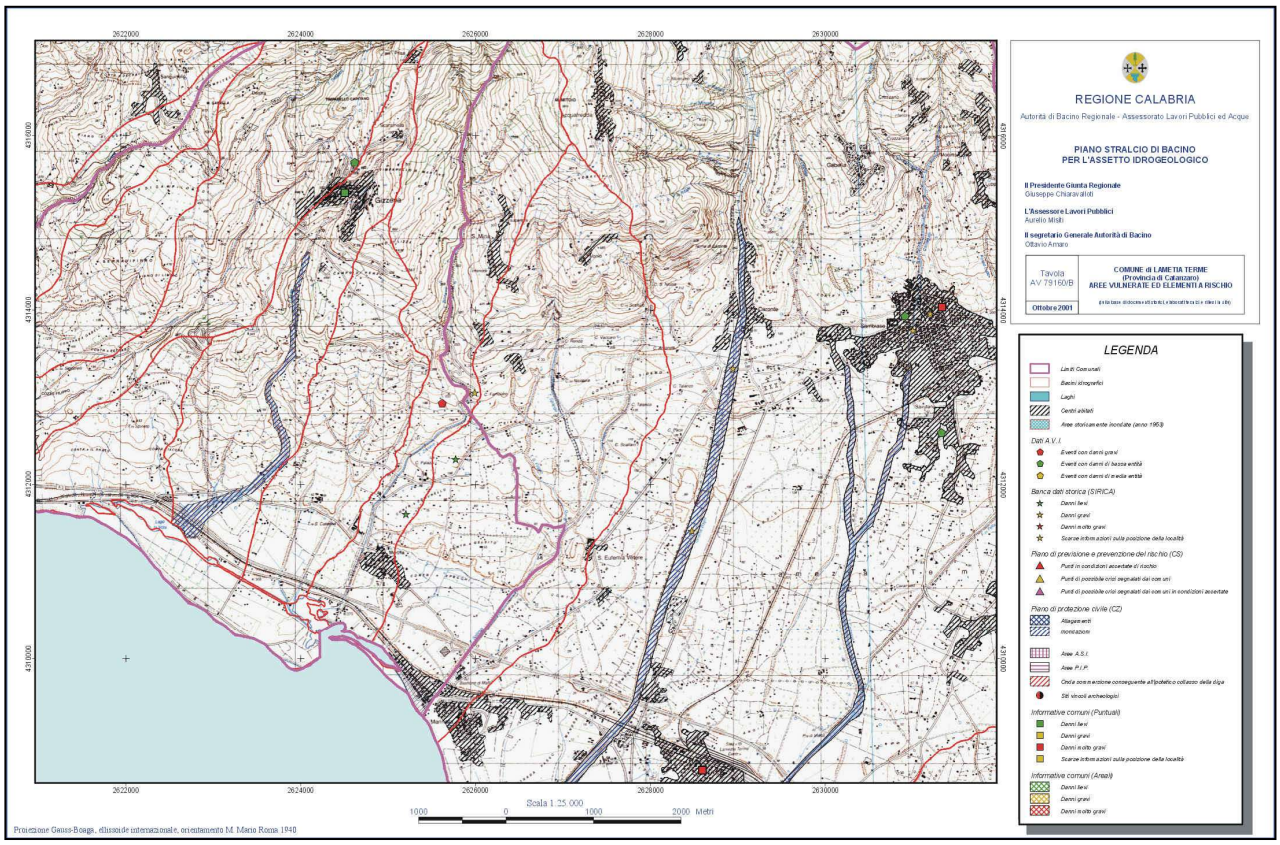


Figura 6.3 - Stralcio fuori scala della TAV 79160/D – Aree Vulnerate ed elementi a rischio – Comune di Lamezia Terme.

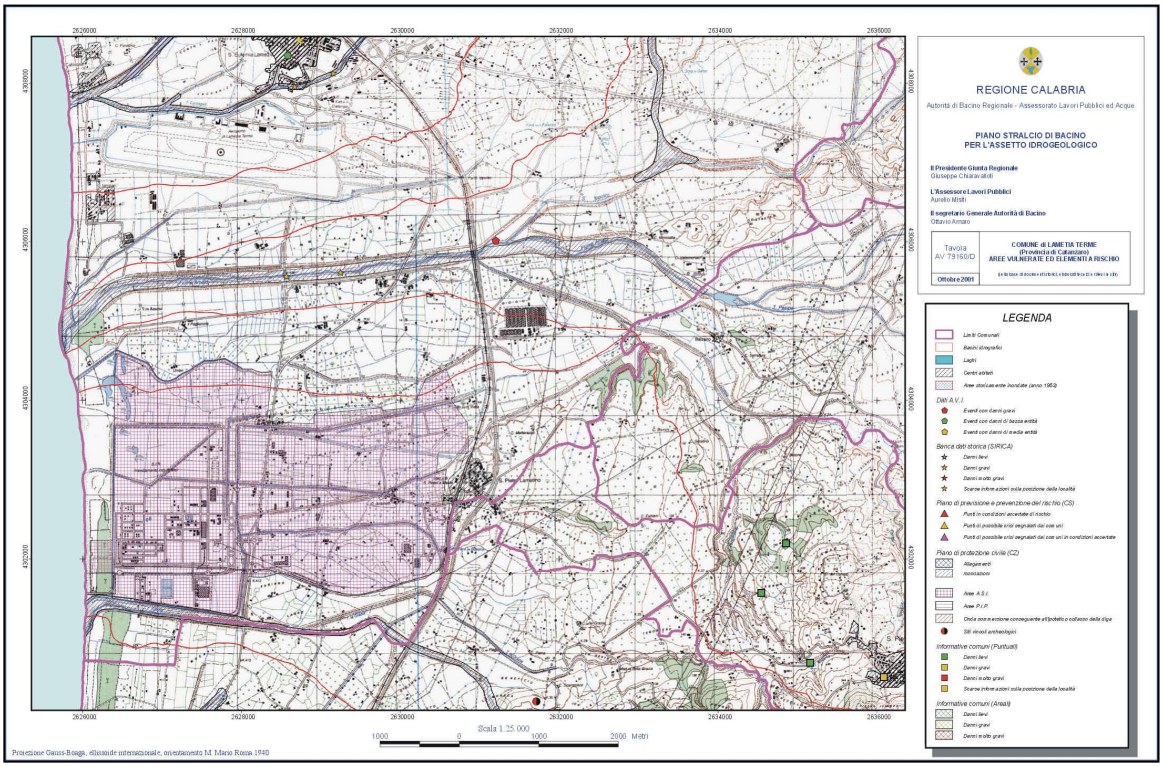


Figura 6.4 - Stralcio fuori scala della TAV 79160/B – Aree Vulnerate ed elementi a rischio – Comune di Lamezia Terme.

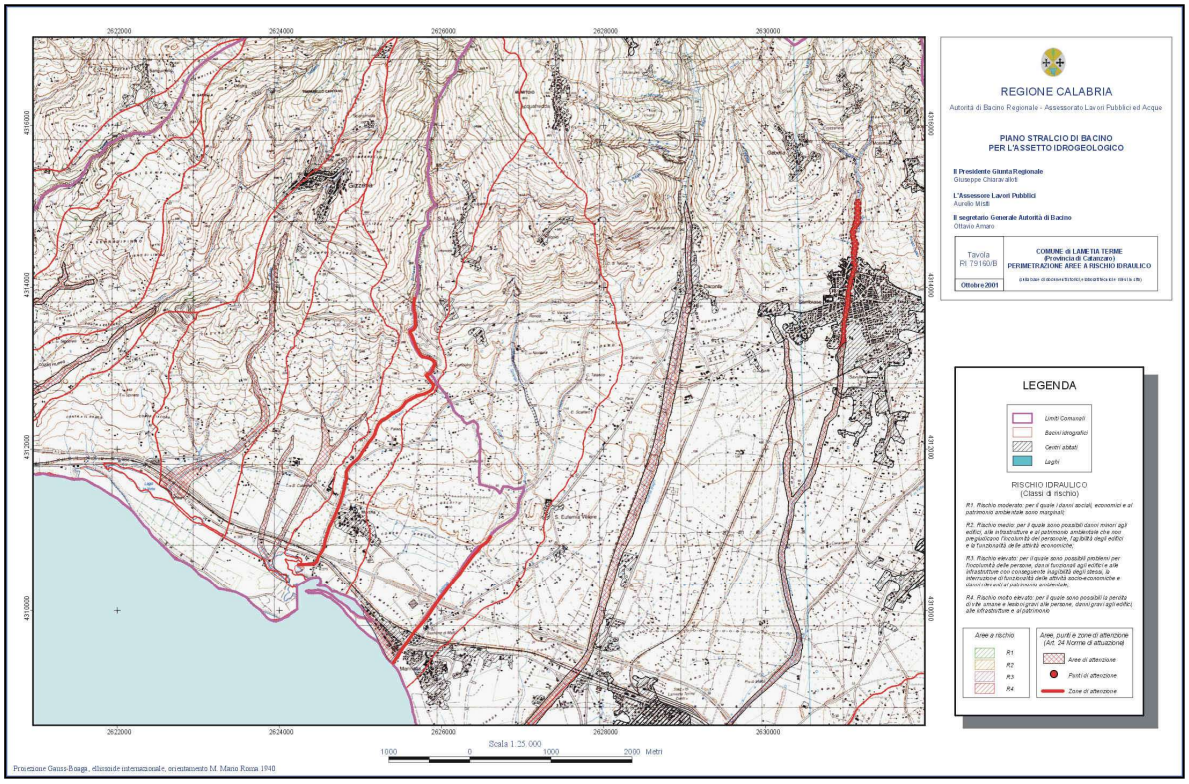


Figura 6.5 - Stralcio fuori scala della TAV RI79160/B – Perimetrazione aree a rischio idraulico – Comune di Lamezia Terme.

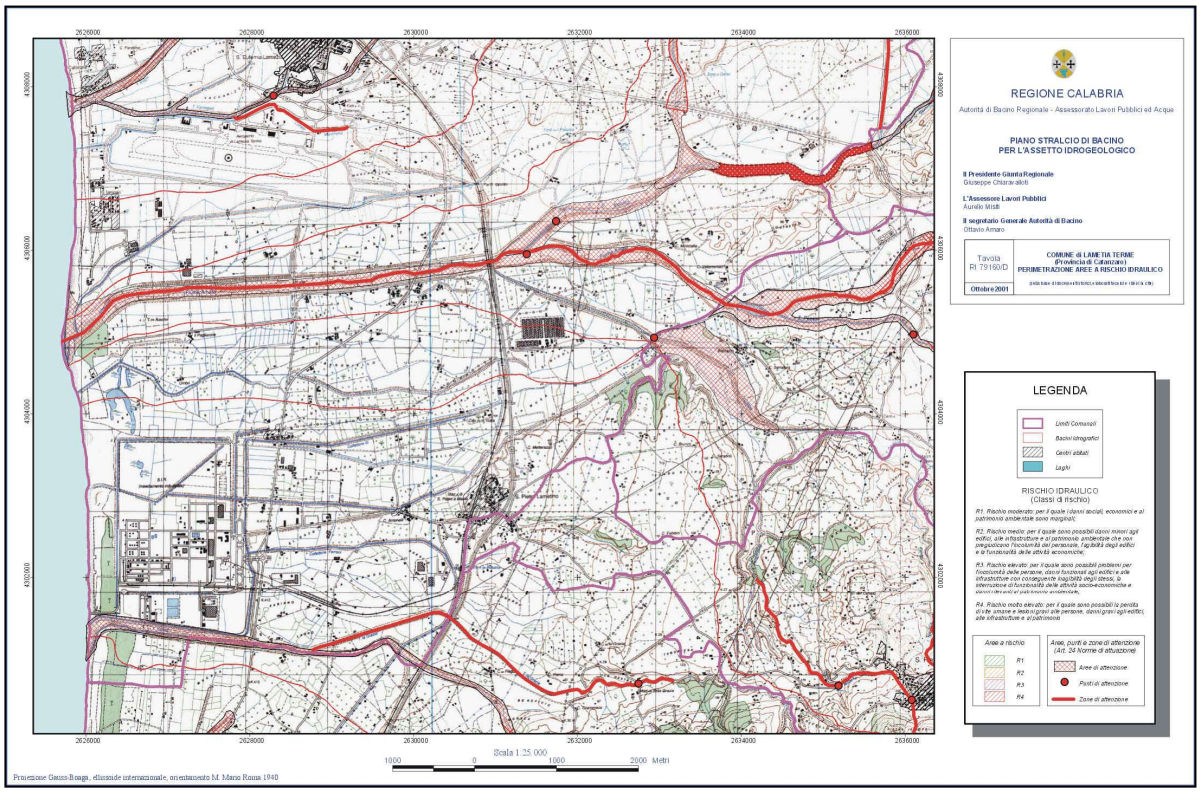


Figura 6.6 - Stralcio fuori scala della TAV RI79160/D – Perimetrazione aree a rischio idraulico – Comune di Lamezia Terme.

Come si evince dalla cartografia riportata nell'area in esame non è stata censita nessuna area a rischio idraulico.

Per quanto riguarda le aree sottoposte ad erosione costiera, sono state consultate le seguenti cartografie:

- TAV 574071_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa del Rischio;
- TAV 574072_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa del Rischio;
- TAV 574074_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa del Rischio;
- TAV 574071_P – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa della Pericolosità;
- TAV 574072_P – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa della Pericolosità;
- TAV 574074_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa della Pericolosità.

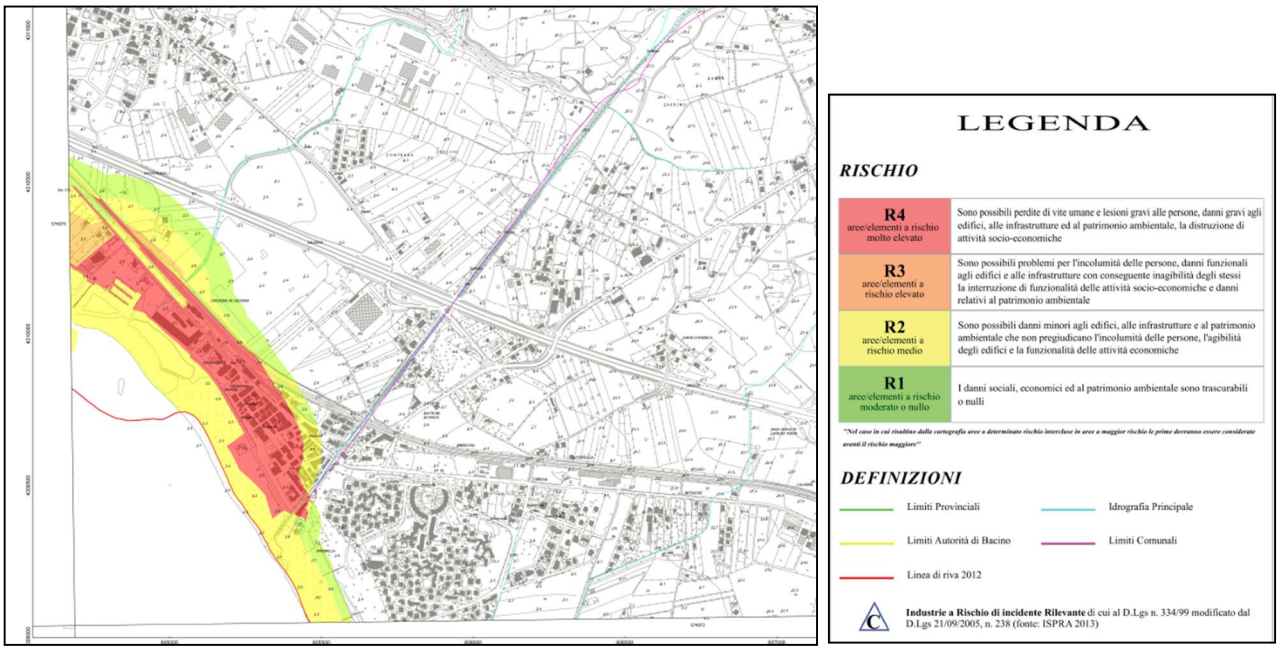


Figura 6.7 - Stralcio fuori scala della TAV 574071_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa del Rischio.

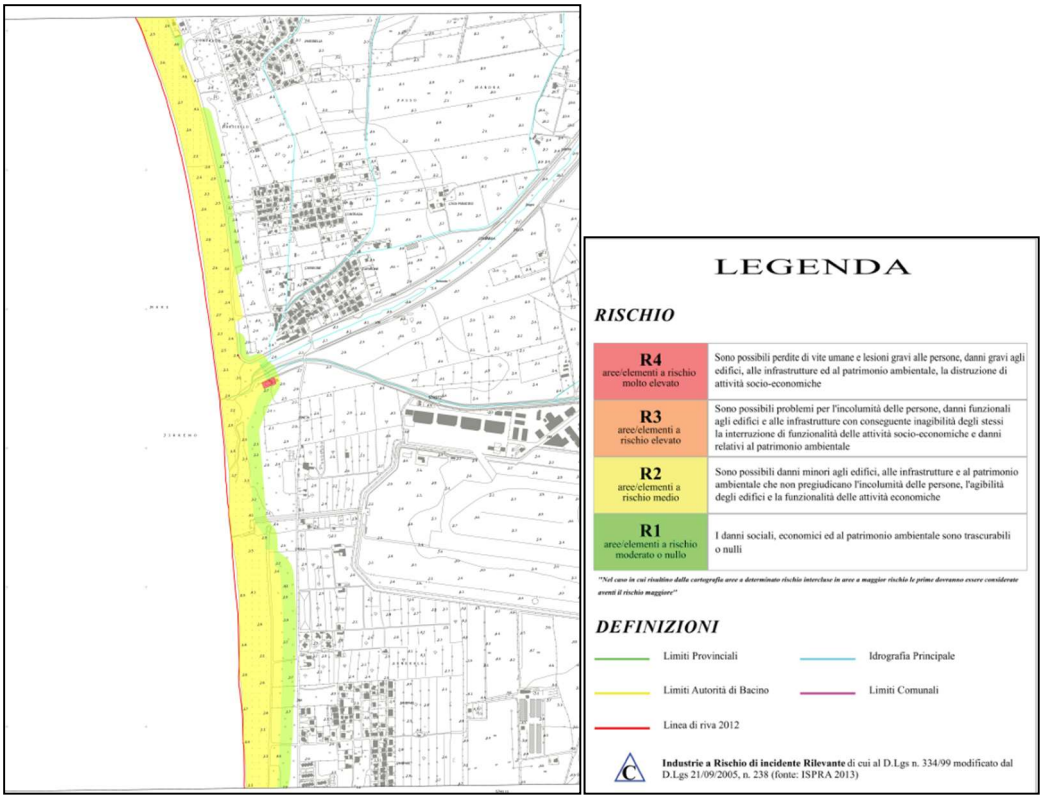


Figura 6.8 - Stralcio fuori scala della TAV 574072_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa del Rischio.

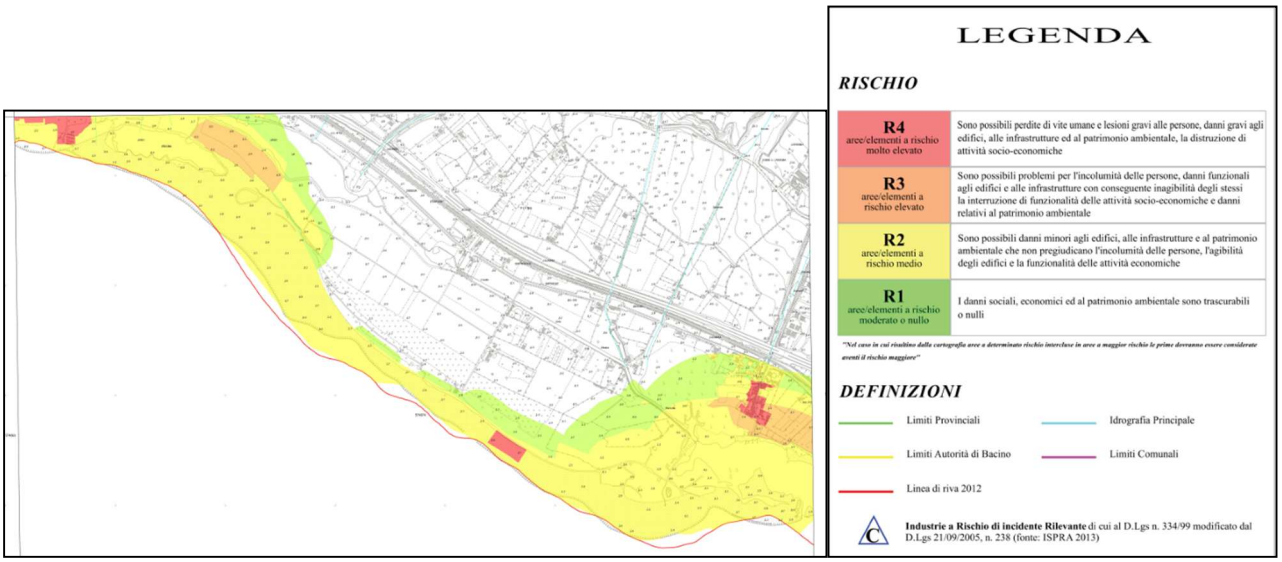


Figura 6.9 - Stralcio fuori scala della TAV 574074_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa del Rischio.

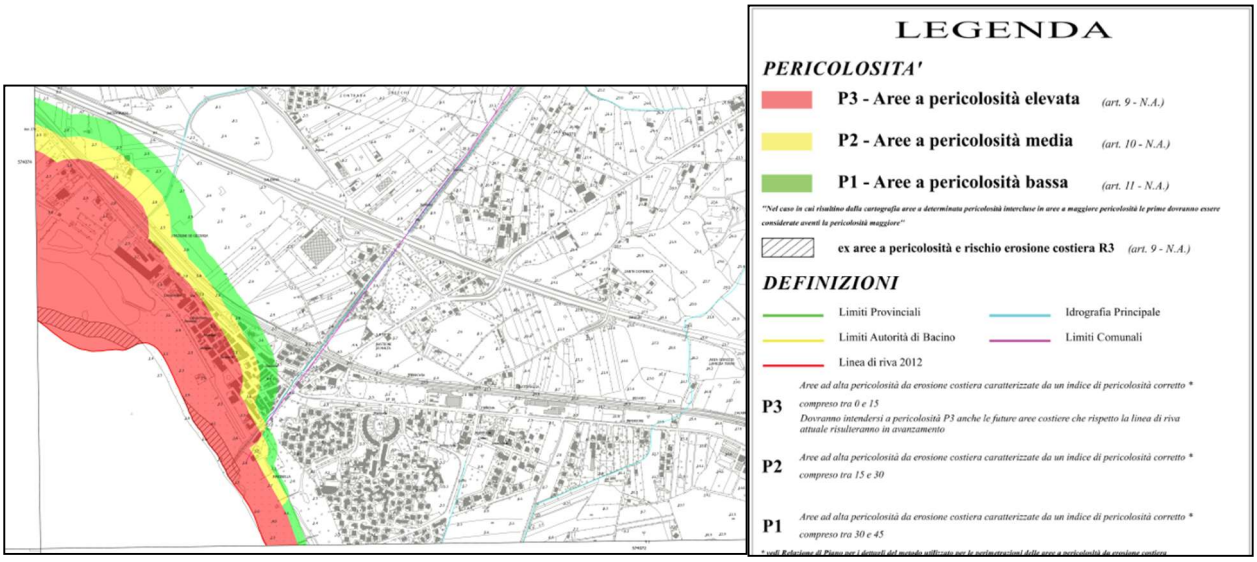


Figura 6.10 - Stralcio fuori scala della TAV 574071_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa della Pericolosità.

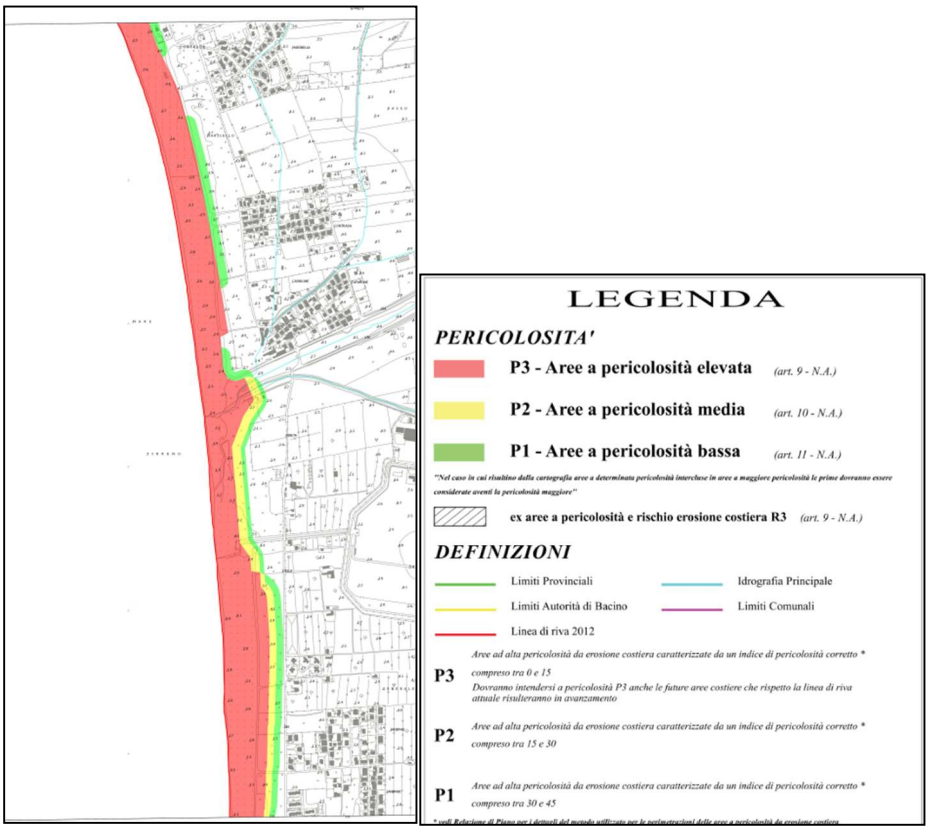


Figura 6.11 - Stralcio fuori scala della TAV 574072_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa della Pericolosità.

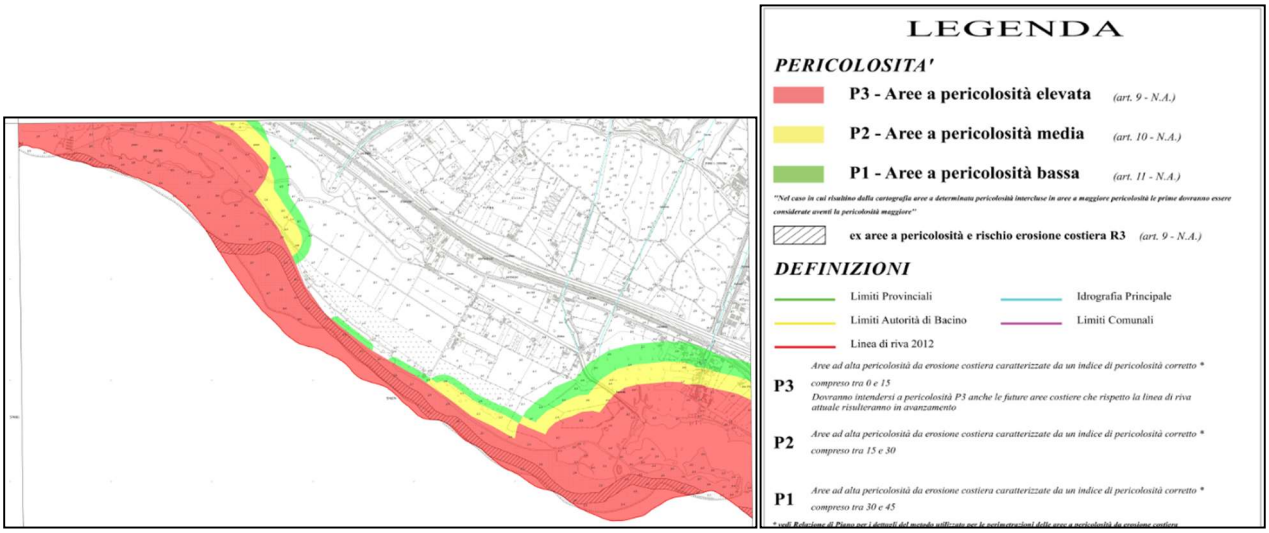


Figura 6.12 - Stralcio fuori scala della TAV 574074_R – Piano stralcio per l'erosione costiera, Mappa della Pericolosità.

6.1 Piano Stralcio di bacino del distretto idrografico dell'appennino meridionale per l'assetto, la mitigazione e la gestione del rischio alluvioni – UOM CALABRIA (PSdGDAM-RisAL-Cal/L)

Il Piano Stralcio di Bacino del Distretto Idrografico dell' Appennino Meridionale per l'Assetto, la Mitigazione e la Gestione del Rischio Alluvioni -Uom Calabria/Lao (nel seguito - PSdGDAM-Ris Al-Cal/L) ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e di pianificazione mediante il quale l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, (in seguito denominata AdBD), pianifica e programma le azioni e le norme d'uso finalizzate alla salvaguardia delle popolazioni, degli insediamenti, delle infrastrutture e del suolo. L'ex Autorità di Bacino Regionale della Calabria, ha predisposto il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, relativo all'UOM Regionale Calabria ed interregionale LAO (ITR181I016) approvato dal Comitato Istituzionale con Delibera n. 13 del 29/10/2001, Giunta Regionale con Delibera n. 900 del 31/10/2001, Consiglio Regionale Delibera n. 115 del 28/12/2001 (c.d. PAI 2001). Il PAI persegue l'obiettivo di garantire al territorio della suddetta UOM, adeguati livelli di sicurezza rispetto all'assetto geomorfologico relativo alla dinamica dei versanti e al pericolo di frana all'assetto idraulico, relativo alla dinamica dei corsi d'acqua e al pericolo d'inondazione ed al rischio di erosione costiera.

L'AdBD ha quindi redatto un aggiornamento del PAI 2001 attraverso la predisposizione del "Piano Stralcio di Bacino del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale per l'Assetto, la Mitigazione e la Gestione del Rischio Alluvioni -Uom Calabria/Lao" (nel seguito PSdGDAM-Ris Al-Cal/L), che ne modifica parzialmente i contenuti. Tale aggiornamento riguarda i seguenti aspetti:

- aspetto idraulico: Vengono rideterminate le perimetrazioni relative al rischio idraulico sull'intero reticolo dell'UoM e conseguentemente decadono quelle contenute nel PAI 2001;
- aspetto tecnico: vengono aggiornati i criteri di classificazione delle aree a rischio idraulico per adattarli alle sopravvenute direttive europee (DIR 2007/60/CE) e conseguentemente decadono le precedenti classificazioni limitatamente al rischio idraulico;
- aspetto normativo: vengono aggiornate le norme di attuazione del PAI 2001. In particolare decadono tutte le disposizioni delle NAMS relative al rischio idraulico (Titolo II parte II) e contestualmente vengono inserite disposizioni aggiuntive relative ad argomentazioni generali che interessano gli aspetti del rischio idraulico, nello specifico la disciplina dei procedimenti di variante.

Le finalità del PSdGDAM-Ris Al-Cal/L sono perseguite mediante:

- la definizione della pericolosità e del rischio idraulico e relativa zonazione;
- l'adeguamento degli strumenti urbanistici e territoriali;
- la costituzione di vincoli e prescrizioni, di incentivi e di destinazioni d'uso del suolo in relazione al diverso livello di rischio;
- l'individuazione di interventi su infrastrutture e manufatti di ogni tipo, anche edilizi, che determinino rischi idrogeologici, anche con finalità di rilocalizzazione;
- la sistemazione dei versanti e delle aree instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture adottando modalità di intervento che privilegino la conservazione e il recupero delle caratteristiche naturali del terreno;
- la moderazione delle piene, la difesa e la regolazione dei corsi d'acqua;

- la definizione dei programmi di manutenzione;
- l'individuazione di interventi finalizzati al recupero naturalistico e ambientale,
- nonché alla tutela e al recupero dei valori monumentali e ambientali presenti e/o alla riqualificazione delle aree degradate;
- l'approntamento di adeguati sistemi di monitoraggio;
- la definizione degli interventi atti a favorire il riequilibrio tra ambiti montani e costieri con particolare riferimento al trasporto solido.

Sono stati visionati i seguenti elaborati:

- **TAV. N. 574074, 574071 e 574072 –** Carta del rischio idraulico (scala 1:5000) – Comuni di Gizzeria e Lamezia Terme (CZ);
- **TAV. N. 574074, 574071 e 574072** – Carta della pericolosità idraulica (scala 1:5000) – Comuni di Gizzeria e Lamezia Terme (CZ).

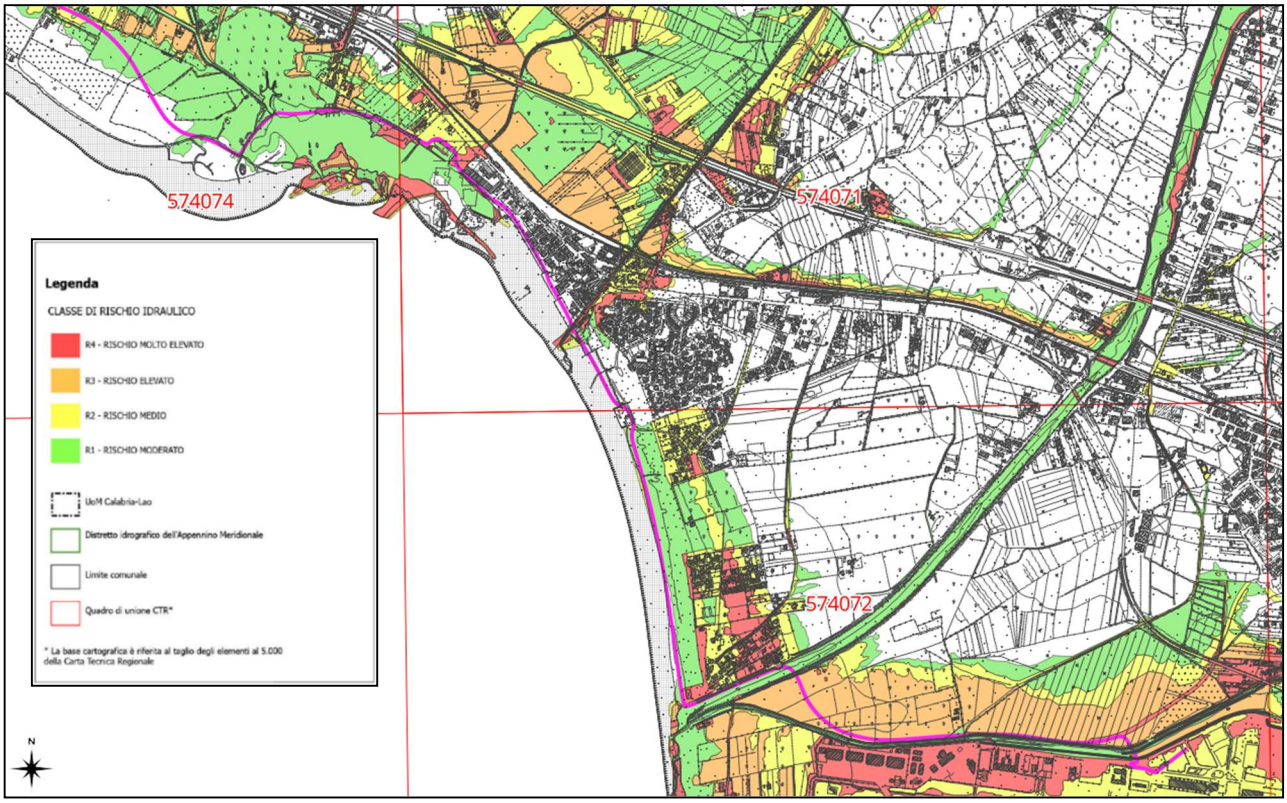


Figura 6-13 - Stralcio carta del rischio idraulico – TAV. N. 574074/574071 e 574072, comuni di Gizzeria e Lamezia Terme, nella quale è indicata l'area di studio.

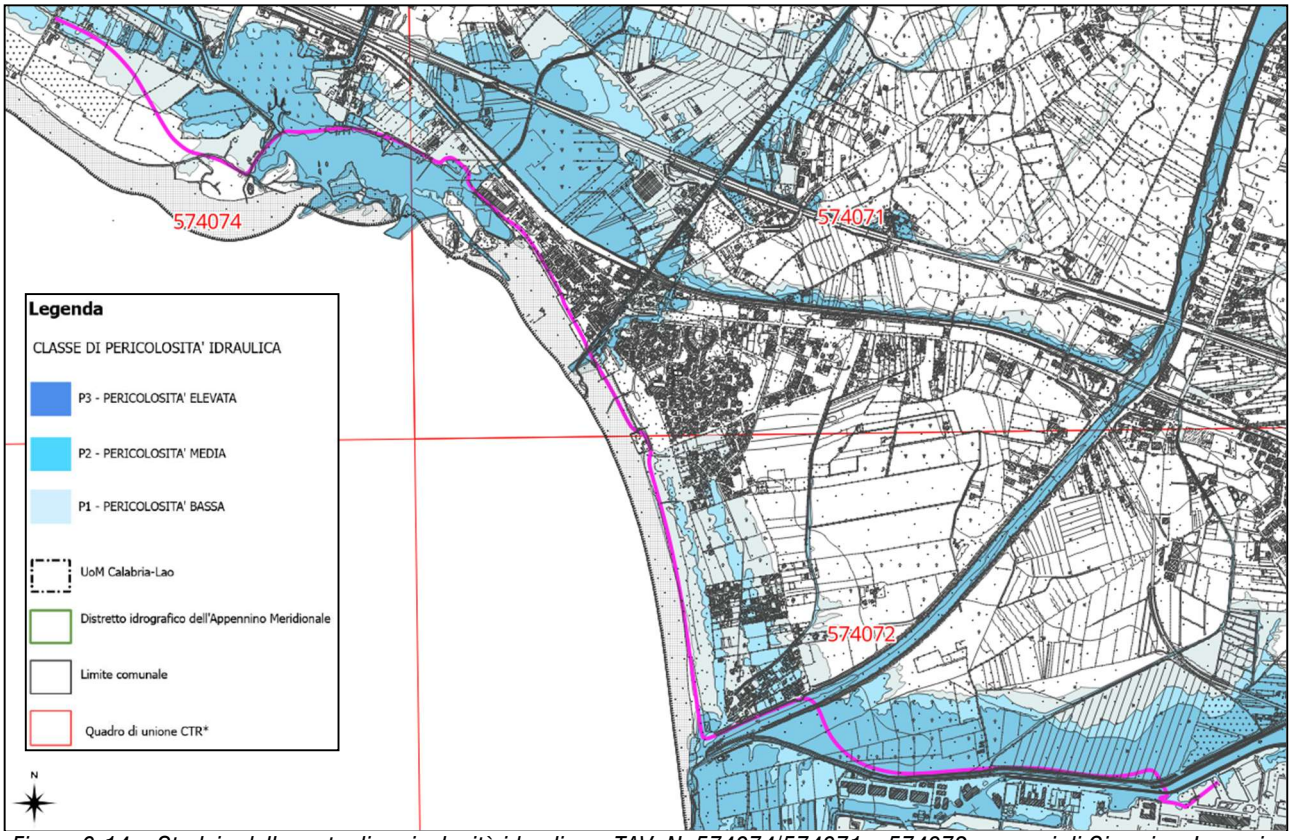


Figura 6-14 – Stralcio della carta di pericolosità idraulica – TAV. N. 574074/574071 e 574072, comuni di Gizzeria e Lamezia Terme, nella quale è indicata l'area di studio.

Dalla consultazione della carta del Rischio Idraulico è emerso come, il comparto di interesse progettuale ricade in zone classificate con classe di rischio R4, R3, R2 ed R1. Mentre, dalla carta di pericolosità idraulica riportata è evidente come il comparto di interesse progettuale ricada all'interno di zone classificate con classe di pericolosità P3; P2 e P1.

Per quanto concerne il PGRA, pur non essendo dotato di un sistema di Norme di attuazione vincolistico, come specificato in precedenza, è stata effettuata una sovrapposizione con l'area oggetto di studio che viene di seguito riportata.

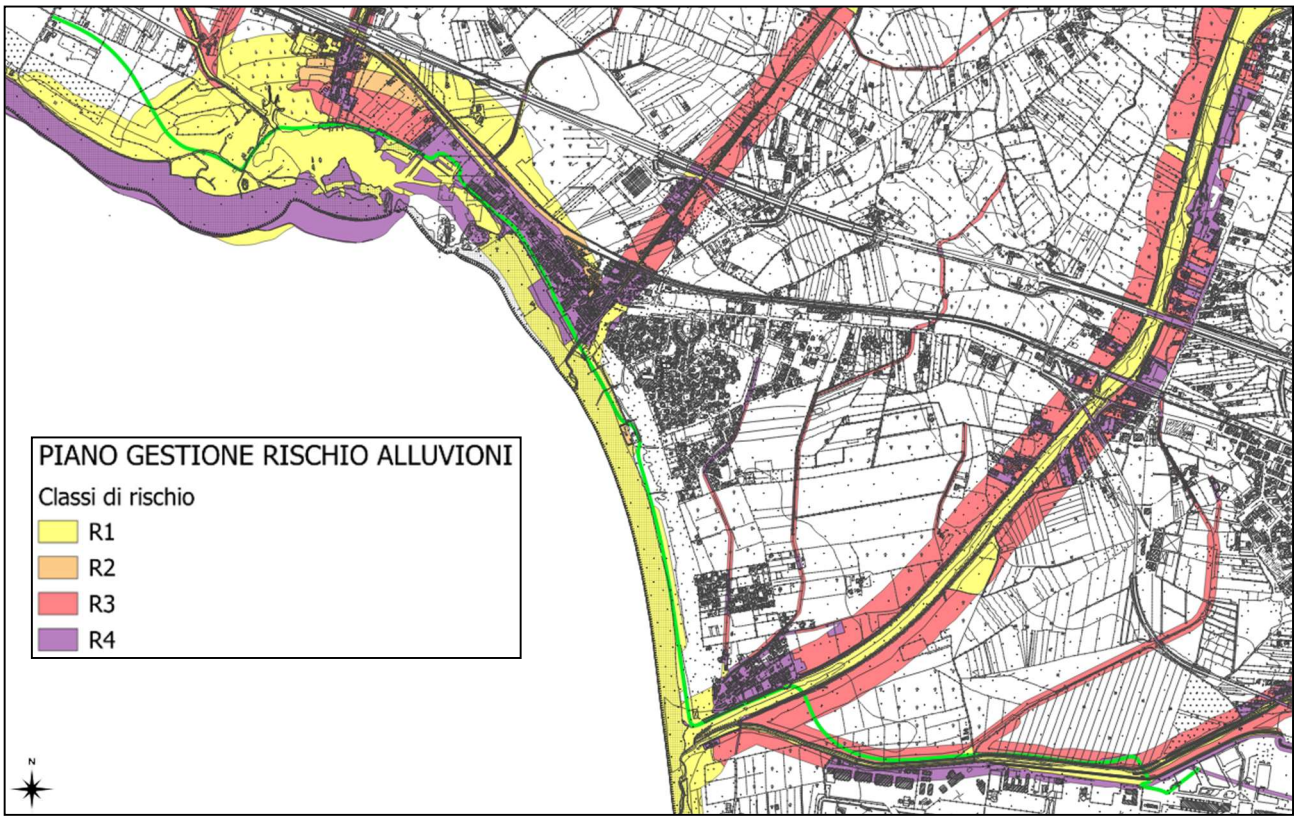


Figura 6.15 - Stralcio fuori scala elaborato in ambiente Gis che riporta le classi di rischio con indicazione dell'area di interesse progettuale.

Come si evince dall'immagine sopra riportata, l'area oggetto d'intervento ricade in parte in aree classificato come aree a rischio R4, R3 ed R1.

7 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nel presente capitolo sono riassunti i risultati della campagna di indagini geognostiche eseguite per la presente fase progettuale; l'ubicazione dei punti di indagine è stata definita a valle di specifici sopralluoghi, in modo da verificare il quadro informativo disponibile ed approfondire gli studi relativamente a quelle aree e/o aspetti che evidenziano le maggiori difficoltà o lacune interpretative.

La campagna di indagini geognostiche si è svolta in **tre diverse fasi esecutive**.

Nella prima fase sono state eseguite:

- N.2 sondaggi (S1 e S2) di 20 ml cadauno, entrambi attrezzato con piezometro tubo aperto; nei fori di sondaggio sono state eseguite prove in foro (n.5 SPT e n.1 LE cadauno) e prelevati campioni indisturbati (n.2CI cadauno);
- N.19 prove penetrometriche dinamiche continue (DPM da 1 a 19);
- N.7 prove M.A.S.W. (da 1 a 7);
- N.7 prove di Sismica a Rifrazione con elaborazione Tomografica (da 1 a 7);
- N.3 HVSR (da 1 a 3).

Nella seconda fase sono state eseguite:

- N.7 prove penetrometriche dinamiche continue (DPM da 20 a 26);
- N.3 prove M.A.S.W. (da 8 a 10);
- N.3 prove di Sismica a Rifrazione con elaborazione Tomografica (da 8 a 10);
- N.3 HVSR (da 4 a 6).

Nella seconda fase sono state eseguite:

- N.5 prove penetrometriche dinamiche continue (DPM da 27 a 31);
- N.1 prove M.A.S.W. (11);
- N.1 prove di Sismica a Rifrazione con elaborazione Tomografica (11).

Inoltre, per una maggiore accuratezza nella ricostruzione del modello geologico-tecnico soprattutto nell'area dell'aeroporto, sono state presi in considerazione precedenti studi ed indagini meccaniche eseguite sul territorio in aree limitrofe ma riguardanti ambienti geologici contraddistinti da litotipi omologhi e raffrontabili per genesi, composizione e caratteristiche con quello di cui alla presente Relazione.

In particolare sono state utilizzate indagini eseguite per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della "RIQUALIFICA DELLE VIABILITA' DI ACCESSO E DELLE AREE DI SOSTA" - AEROPORTO DI LAMEZIA TERME RELAZIONE GEOTECNICA"; in particolare è stato considerato unicamente il sondaggio S1 eseguito in prossimità dell'area di interesse:

- Sondaggio S1 spinto fino alla profondità di 30 ml; nel foro di sondaggio sono state eseguite n.4 prove in foro SPT e prelevati n.4 campioni indisturbati e semi-indisturbati.

Per la caratterizzazione dei terreni sono state rielaborate le prove in foro SPT e considerati i valori di resistenza (*angolo di attrito e coesione*) derivanti dalle prove di laboratorio sui campioni prelevati.

Le indagini geognostiche effettuate nell'area di studio, hanno consentito di pervenire ad una

caratterizzazione geomeccanica del volume significativo dei terreni in affioramento. Le correlazioni ottenute hanno fornito indicazioni sufficienti alla predisposizione del modello geologico di riferimento.

La modellazione geologica (art. 6.2.1. del D.M. 2018), non prevede la parametrizzazione geomeccanica dei terreni indagati; i valori indicati in tabella rappresentano un intervallo di valori, che permette comunque l'inquadramento degli aspetti geotecnici dell'area interessata dal progetto. Il Progettista, responsabile della modellazione geotecnica (art. 6.2.2. del D.M. 2018), una volta scelta la tipologia fondale più idonea per la struttura in progetto, potrà eventualmente richiedere approfondimenti di indagine (ulteriori indagini in sito e/o specifiche analisi di laboratorio su campioni rappresentativi del terreno), per definire la parametrizzazione geotecnica caratteristica.

Tutte le indagini sono state eseguite in ottemperanza alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" dell'Associazione Geotecnica Italiana (1977).

Per il dettaglio dei risultati delle indagini geognostiche descritte si rimanda ai report a corredo della presente fase progettuale:

PE_RI_00_REL_02_A	Report indagini geognostiche
PE_RI_00_REL_03_A	Report indagini geofisiche
PE_RI_00_REL_04_A	Report laboratorio
PE_RI_00_REL_05_A	Report indagini pregresse

7.1 Sondaggi Geognostici a Carotaggio Continuo

Sono stati eseguiti n.2 sondaggi (S1 e S2) a carotaggio continuo attrezzati con piezometro, entrambi fino alla profondità di 20 metri. Nel corso delle perforazioni sono state realizzate in totale n° 10 prove in foro tipo Standard Penetration Test (SPT) sul materiale ove significativo. Inoltre, si è provveduto anche al prelievo di n° 10 campioni indisturbati.

Inoltre sono state utilizzate indagini eseguite per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della "RIQUALIFICA DELLE VIABILITA' DI ACCESSO E DELLE AREE DI SOSTA" - AEROPORTO DI LAMEZIA TERME RELAZIONE GEOTECNICA"; nel quale è stato considerato unicamente il sondaggio S1 eseguito in prossimità dell'area di interesse, in corso delle perforazioni sono state realizzate in totale n° 4 prove in foro tipo Standard Penetration Test (SPT) sul materiale ove significativo, al prelievo di n° 3 campioni indisturbati ed un campione semi disturbato.

In tutti i campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione fisica e meccanica dei litotipi intercettati.

Nel complesso il sondaggio S1(pregresso) ha intercettato, partendo dal p.c.:

- Da 0m a 0.5 m terreno di riporto (manto stradale bituminoso con frammenti decimetrici);
- Da 5.5 m a 1.0m sabbie grossolane con ciottoli decimetrici in matrice sabbiosa di colore biancastro;
- Da 1.0 m a 1.8 m sabbie limose sciolte con inclusioni clastiche centimetriche;
- Da 1.8 m a 2.0 m sabbie limose e limi sabbiosi maggiormente compatti;
- Da 2.0 m a 2.2 m breccia in matrice sabbioso-limosa;

- Da 2.2 m a 5.5 m limi sabbioso argillosi di colore giallo ocra;
- Da 5.5 m a 12.0 m sabbie limoso argillose di colore grigio-verde;
- Da 12.0 m a 13.5 m depositi argillosi sabbiosi debolmente limosi di colore grigio-azzurro, con presenza di depositi torbiditici (scagliettati);
- Da 13.5 m a 18.0 m limo sabbioso argilloso di colore grigiastro;
- Da 18.0 m a 18.7 m limo sabbioso con clasti centimetri (depositi di conoide) di colore verdastro passanti a sabbie limose di colore verdastro;
- Da 18.7 m a 19.0 m limi sabbiosi di colore verdastro;
- Da 19.0 m a 20.0 m sabbie limose mediamente compatte di colore marroncino chiaro a grigiastro;
- Da 20.0 m a 24.4 m sabbie limose mediamente compatte di colore marroncino chiaro a grigiastro;
- Da 24.4 m a 25.0 m sabbie limose debolmente argillose mediamente addensate;
- Da 25.0 m a 29.0 m sabbie sciolte alternate a sabbie limose maggiormente addensate;
- Da 29.0 m a 29.2 m ciottoli in matrice sabbiosa;
- Da 29.2 m a 30.0 m sabbie sciolte alternate a sabbie limose maggiormente addensate;

Il sondaggio S1(eseguita nella FASE 1) ha intercettato:

- Da 0m a 4.5 m sabbia grossolana (ghiaietto) sciolta di colore grigio scuro. Presenza di terreno vegetale nei primi 10 cm;
- Da 4.5 m a 9.0m sabbia medio grossolana limosa di colore grigio scuro;
- Da 9.0 m a 10.5 m sabbia grossolana (ghiaietto) sciolta di colore grigio scuro;
- Da 10.5 m a 13.0 m sabbia medio grossolana limosa di colore grigio scuro;
- Da 13.0 m a 20.0 m sabbia grossolana sciolta di colore grigio scuro.

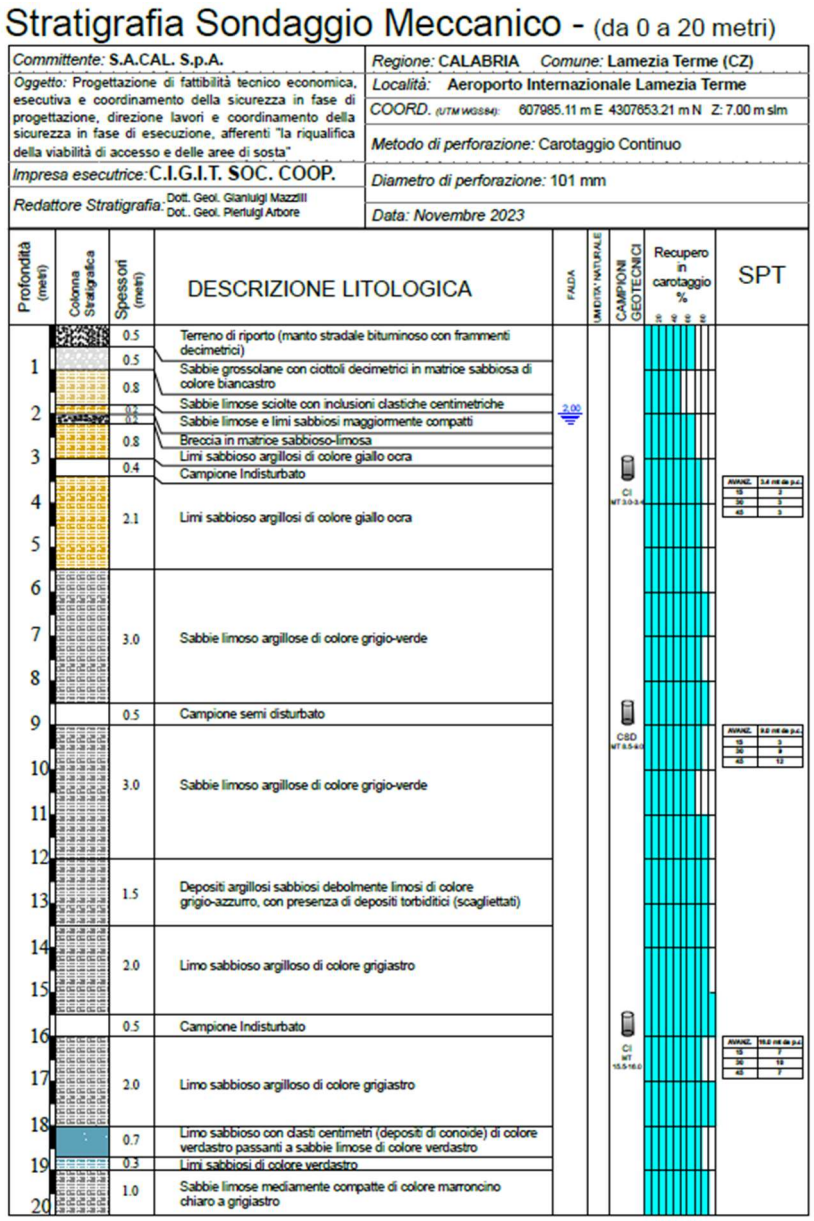
Il sondaggio S3DH(eseguita nella FASE 1) ha intercettato:

- Da 0m a 3.5 m sabbia grossolana (ghiaietto) sciolta di colore grigio scuro.
- Da 3.5 m a 5.0m sabbia medio grossolana, debolmente limosa, con ghiaietto, di colore grigio scuro;
- Da 5.0 m a 11.0 m sabbia grossolana limosa di colore grigio scuro che tende a diventare nerastro tra 10.00/11.00 m;
- Da 11.0 m a 20.0 m sabbia medio grossolana di colore grigio scuro.

SONDAGGIO	Profondità (m)	SPT	CI	CSD	LE/LU	Installazione	Livello falda m da p.c.
PREGRESSE							
S1	30	4	3	1		TA	2.0
FASE 1							
S1	20	5	2	/	2	TA	0.5
S2	20	5	2	/	2	TA	0.5

Tabella 7.1 - Tabella riepilogativa sondaggi geognostici.

SONDAGGI GEOGNOSTICI PREGRESSI



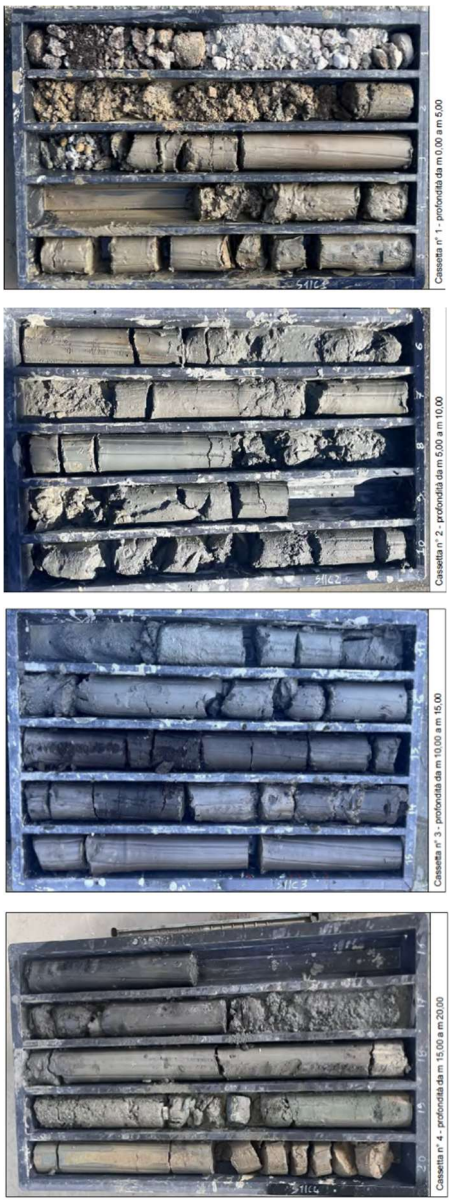


Figura 7.1- Stratigrafia sondaggio S1 da 0,00 a 20,00 metri.

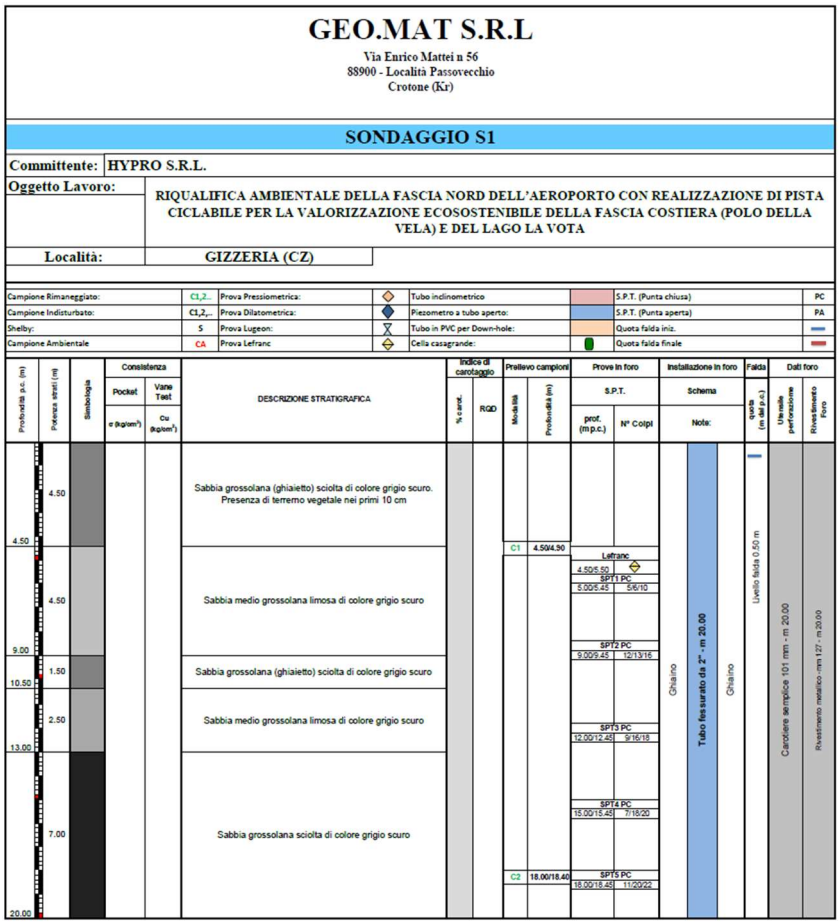
Stratigrafia Sondaggio Meccanico - (da 20 a 30 metri)

Committente: **S.A.CAL. S.p.A.**	*Regione:* **CALABRIA** *Comune:* **Lamezia Terme (CZ)**
Oggetto: Progettazione di fattibilità tecnico economica, esecutiva e coordinamento della sicurezza in fase di progettazione, direzione lavori e coordinamento della sicurezza in fase di esecuzione, afferenti "la riqualifica della viabilità di accesso e delle aree di sosta"	*Località:* **Aeroporto Internazionale Lamezia Terme**
	COORD. (UTM WGS84): 607985.11 m E 4307653.21 m N Z: 7.00 m slm
	Metodo di perforazione: Carotaggio Continuo
Impresa esecutrice: **C.I.G.I.T. SOC. COOP.**	*Diametro di perforazione:* 101 mm
Redattore Stratigrafia: Dott. Geol. Gianluigi Mazzilli, Dot.. Geol. Pierluigi Arbore	*Data:* Novembre 2023

Profondità (metri)	Colonna Stratigrafica	Spessori (metri)	DESCRIZIONE LITOLOGICA	FALDA	UMIDITA' NATURALE	CAMPIONI GEOTECNICI	Recupero in carotaggio %	SPT
20–24		4.0	Sabbie limose debolmente argillose da maggiormente compatte a poco addensate					AVANZ. / 22,5 cm da p.c. / 15 / 13 / 20 / 20 / 40 / 23
24		0.4	Campione Indisturbato			CI MT 240-244		
25		0.6	Sabbie limose debolmente argillose mediamente addensate					
26–28		4.0	Sabbie sciolte alternate a sabbie limose maggiormente addensate					
29		0.2	Ciottoli in matrice sabbiosa					
30		0.8	Sabbie sciolte alternate a sabbie limose maggiormente addensate					

Figura 7.2 - Stratigrafia sondaggio S1 da 20,00 a 30,00 metri.

SONDAGGI GEOGNOSTICI FASE 1



GEO.MAT S.R.L
Via Enrico Mattei n 56
88900 - Località Passovecchio
Crotone (Kr)

SONDAGGIO S1

Committente: HYPRO S.R.L.
Oggetto Lavoro: RIQUALIFICA AMBIENTALE DELLA FASCIA NORD DELL'AEROPORTO CON REALIZZAZIONE DI PISTA CICLABILE PER LA VALORIZZAZIONE ECOSOSTENIBILE DELLA FASCIA COSTIERA (POLO DELLA VELA) E DEL LAGO LA VOTA
Località: GIZZERIA (CZ)

Campione Rimaneggiato:	C1,2...	Prova Pressiometrica:		Tubo inclinometrico		S.P.T. (Punta chiusa)	PC
Campione Indisturbato:	C1,2,..	Prova Dilatometrica:		Piezometro a tubo aperto:		S.P.T. (Punta aperta)	PA
Shelby:	S	Prova Lugeon:		Tubo in PVC per Down-hole:		Quota falda iniz.	
Campione Ambientale	CA	Prova Lefranc		Cella casagrande:		Quota falda finale	

Profondità p.c. (m)	Potenza strati (m)	Simbologia	Consistenza Pocket σ (kg/cm²)	Consistenza Vane Test Cu (kg/cm²)	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	Indice di carotaggio % carot.	Indice di carotaggio RQD	Prelievo campioni Modalità	Prelievo campioni Profondità (m)	Prove in foro S.P.T. prof. (m p.c.)	Prove in foro S.P.T. N° Colpi	Installazione in foro Schema / Note:	Falda quota (m dal p.c.)	Dati foro Utensile perforazione	Dati foro Rivestimento Foro
4.50	4.50				Sabbia grossolana (ghiaietto) sciolta di colore grigio scuro. Presenza di terreno vegetale nei primi 10 cm										
9.00	4.50				Sabbia medio grossolana limosa di colore grigio scuro			C1	4.50/4.90	Lefranc 4.50/5.50					
										SPT1 PC 5.00/5.45	5/6/10				
										SPT2 PC 9.00/9.45	12/13/16				
10.50	1.50				Sabbia grossolana (ghiaietto) sciolta di colore grigio scuro							Ghiaino	Livello falda 0.50 m		
13.00	2.50				Sabbia medio grossolana limosa di colore grigio scuro					SPT3 PC 12.00/12.45	9/16/18	Tubo fessurato da 2" - m 20.00		Carotiere semplice 101 mm - m 20.00	Rivestimento metallico mm 127 - m 20.00
										SPT4 PC 15.00/15.45	7/16/20				
20.00	7.00				Sabbia grossolana sciolta di colore grigio scuro			C2	18.00/18.40	SPT5 PC 18.00/18.45	11/20/22				

FOTO CASSETTA 0,00-5,00

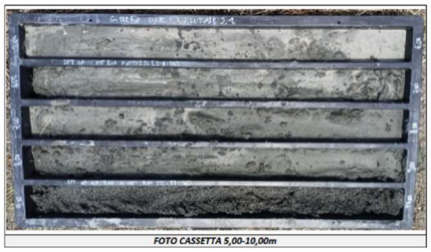


FOTO CASSETTA 5,00-10,00m

FOTO CASSETTA 10,00-15,00m

FOTO CASSETTA 15,00-20,00m

Figura 7.3 - Stratigrafia sondaggio S1.

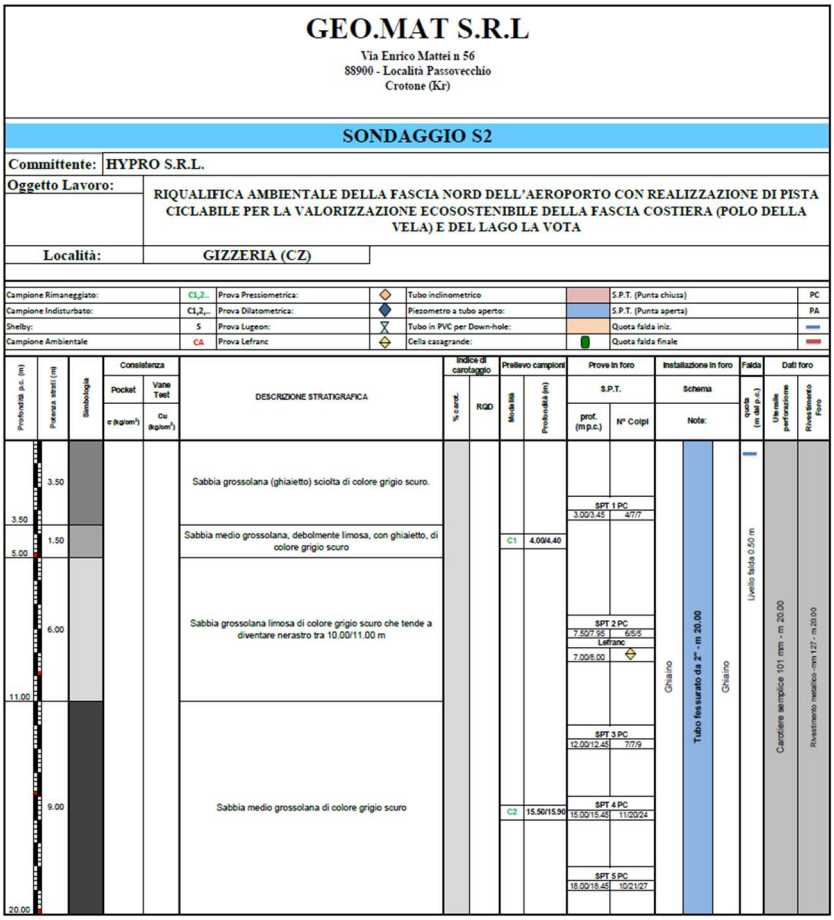


FOTO CASSETTA 0,00-5,00

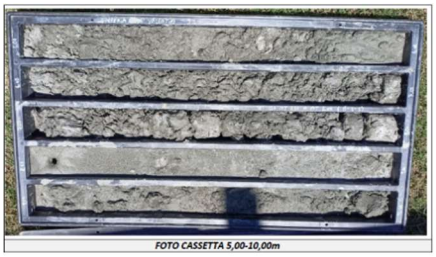


FOTO CASSETTA 5,00-10,00m

FOTO CASSETTA 10,00-15,00m

FOTO CASSETTA 15,00-20,00m

Figura 7.4 - Stratigrafia sondaggio S2.

7.1.1 Standard Penetration Test

Durante l'avanzamento delle perforazioni sono state condotte, in totale, n° 14 prove SPT in foro di sondaggio di cui 4 nel sondaggio S1 pregresso e 10 eseguite nei sondaggi della fase 1.

Tali prove sono state realizzate secondo gli standard in vigore, misurando i colpi necessari per l'infissione del penetrometro per 3 tratti di 15cm l'uno, scartando il primo valore (N1), ed ottenendo il valore NSPT come somma dei valori corrispondenti ai restanti due tratti (N2+N3).

Si è fatto riferimento alle correlazioni esistenti in letteratura tra i risultati delle prove SPT ed i parametri caratteristici che concorrono a definire la resistenza al taglio dei terreni e le loro caratteristiche di deformabilità. I depositi attraversati lungo la verticale di sondaggio risultano essere limi sabbioso argillosi e sabbie grossolane limoso argillose, inoltre si è fatto ricorso alla parametrizzazione in termini drenati, con determinazione della densità relativa, coesione, angolo di attrito (picco) e moduli elastici.

Al fine di migliorare il grado di attendibilità dell'elaborazione, si sono confrontati i risultati di diversi approcci analitici.

SONDAGGIO	N°SPT	PROF. (m)	N°COLPI	NSPT
PREGRESSE				
S1	SPT1	3.5	2-3-3	6
	SPT2	9.0	3-9-12	21
	SPT3	16.0	7-10-7	17
	SPT4	22.5	13-20-23	43
FASE 1				
S1	SPT1	5.00	5-6-10	16
	SPT2	9.00	12-13-16	29
	SPT3	12.00	9-16-18	35
	SPT4	15.00	7-18-20	38
	SPT5	18.00	11-20-22	42
S2	SPT1	3.00	4-7-7	14
	SPT2	7.50	6-5-5	10
	SPT3	12..00	7-7-9	16
	SPT4	15.00	11-20-24	44
	SPT5	18.00	1\0-21-27	48

Tabella 7.2 – Tabella di riepilogo delle prove SPT eseguite.

7.1.2 Prove di laboratorio

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati n.3 campioni indisturbati e n.1 campione semi disturbato eseguiti in S1 pregresso e n.4 campioni indisturbati eseguiti nei sondaggi S1 ed S2 i quali sono stati sottoposti a prove di laboratorio (Analisi granulometrica, limiti di Atterberg, misura del contenuto d'acqua, misura del peso dell'unità di volume, misura del peso specifico dei grani, prova di taglio diretto, prova edometrica e prova di colonna risonante). I risultati ottenuti dalle differenti prove eseguite sono riassunti nella seguente tabella. Per un maggiore dettaglio rimanda ai relativi certificati.

Campione	profondità (m)	W	γ	γ_s	*granulometria*			
					Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %
		(%)	(kN/m³)	(kN/m³)				
PREGRESSE								
S1C1	3-3.4	20.4	18.7	26.5	0	21.9	57.2	20.9
S1C2	8.5-9	23.0	19.4	26.5	0	77.4	22.6	
S1C3	15.5-15.6	24.1	19.4	26.6	0	28.1	50.9	21.0
S1C4	24-24.4	23.5	19.8	26.5	0	66.8	28.2	5.0
PFTE								
S1C1	4.5-5.0	16.34	19	26.1	4.3	80.7	8.1	6.9
S1C2	15-15.5	19.47	18	26.2	0	96.2	3.8	0
S2C1	7.5-8	7.4	17.6	26.2	4.4	69.3	15.7	10.6
S2C2	18-18.5	19.5	18.4	26.25	0	97.4	2.6	

Campione	profondità (m)	AGI	*Taglio*		*Modulo Edometrico*		
			c'	φ'	E		
					Carichi		
			kPa	(°)	49 kPa	98 kPa	196kPa
PREGRESSE							
S1C1	3-3.4	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO	10.6	24	-	5965	8307
S1C2	8.5-9	SABBIA LIMOSA	3.6	28	7412	8512	9758
S1C3	15.5-15.6	LIMO CON SABBIA ARGILLOSA	10.2	25	7715	8503	9272
S1C4	24-24.4	SABBIA CON LIMO DEBLMENTE ARGILLOSA	0.9	31	-	10552	14766
PFTE							
S1C1	4.5-5.0	ASABBIA DEBOLMENTE LIMOSA DEBOLMENTE ARGILLOSA	1.4	32	-	-	-
S1C2	15-15.5	SABBIA	0.96	33	-	-	-
S2C1	7.5-8	SABBIA LIMOSA ARGILLOSA	1.4	32.2	-	-	-
S2C2	18-18.5	SABBIA	0.9	33.5			

7.1.3 Prove di permeabilità LeFranc a carico variabile

Le prove di permeabilità LeFranc a carico variabile sono state eseguite all'interno dei tre sondaggi verticali realizzati.

La metodologia utilizzata per l'esecuzione della prova di permeabilità è stata a carico variabile tipo LeFranc, di seguito si riassume brevemente le fasi di lavoro:

- perforazione del terreno fino al raggiungimento della profondità indicata con tubazione di

rivestimento del diametro 127 mm lasciando il tratto di investigazione libero per una lunghezza di 50 cm;

- Riempimento con acqua fino all'estremità della tubazione;
- Misura del livello dell'acqua all'interno della tubazione (senza ulteriori immissioni di acqua) a distanza di 15", 30", 1', 2', 4',8', 15', 20',30',45',60'.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa con la profondità di ogni prova eseguita e il valore di K ottenuto:

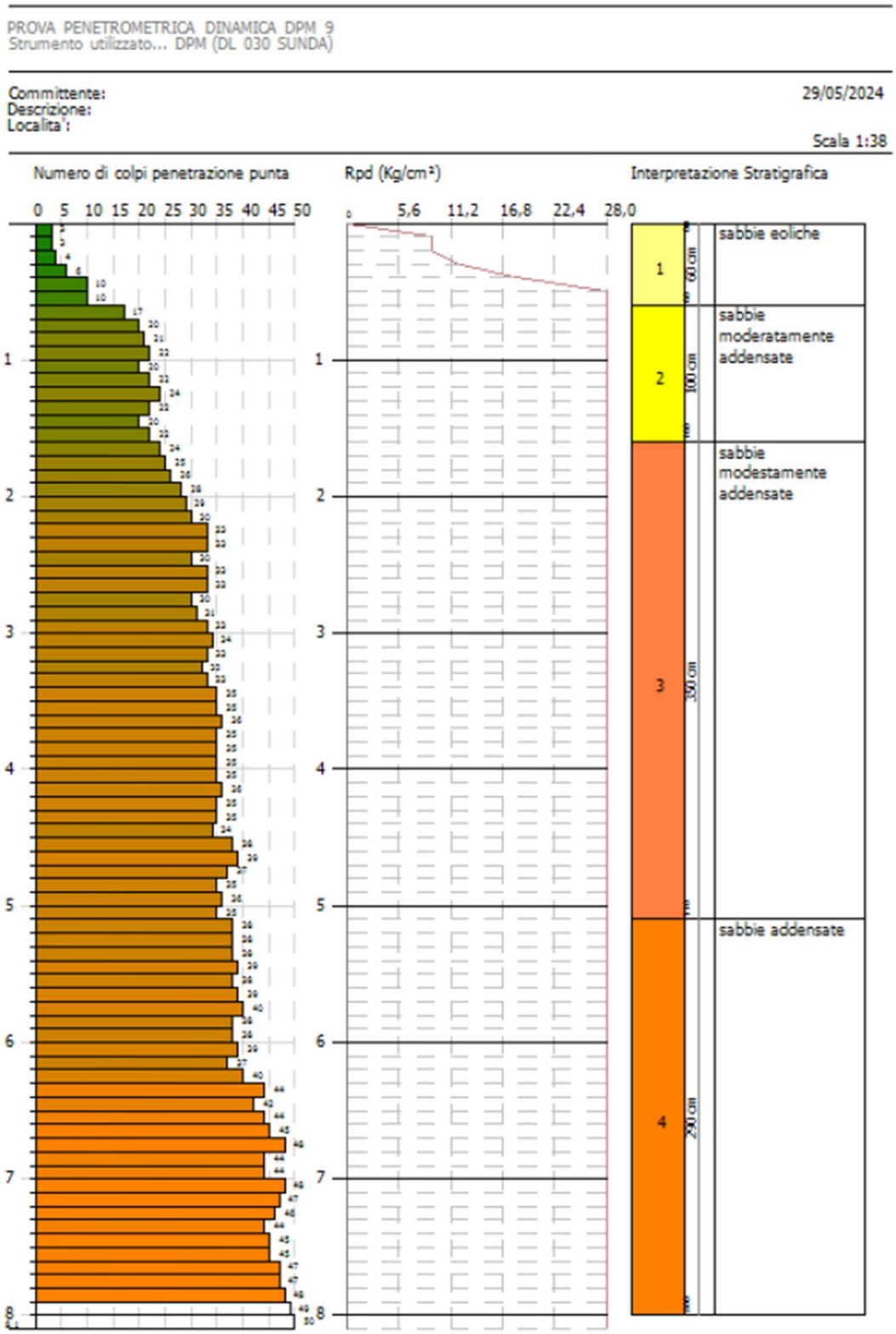
Sondaggio	***LeFranc a carico variabile***	
	Profondità	***Coefficiente di permeabilità (m/s)***
PFTE		
S1	4.50-5.50	1.25E-04
S2	7.00-8.00	3.69E-05

7.2 Prova Penetrometrica Dimanica media DPM

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi) misurando il numero di colpi N necessari. Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

FASE 1

DPM9


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 9
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)
Committente:
Descrizione:
Localita':
29/05/2024
Scala 1:38
Numero di colpi penetrazione punta
Rpd (Kg/cm²)
Interpretazione Stratigrafica
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
0 5,6 11,2 16,8 22,4 28,0
1 2 3 4 5 6 7 8
1
60 cm
sabbie eoliche
2
100 cm
sabbie moderatamente addensate
3
350 cm
sabbie modestamente addensate
4
290 cm
sabbie addensate

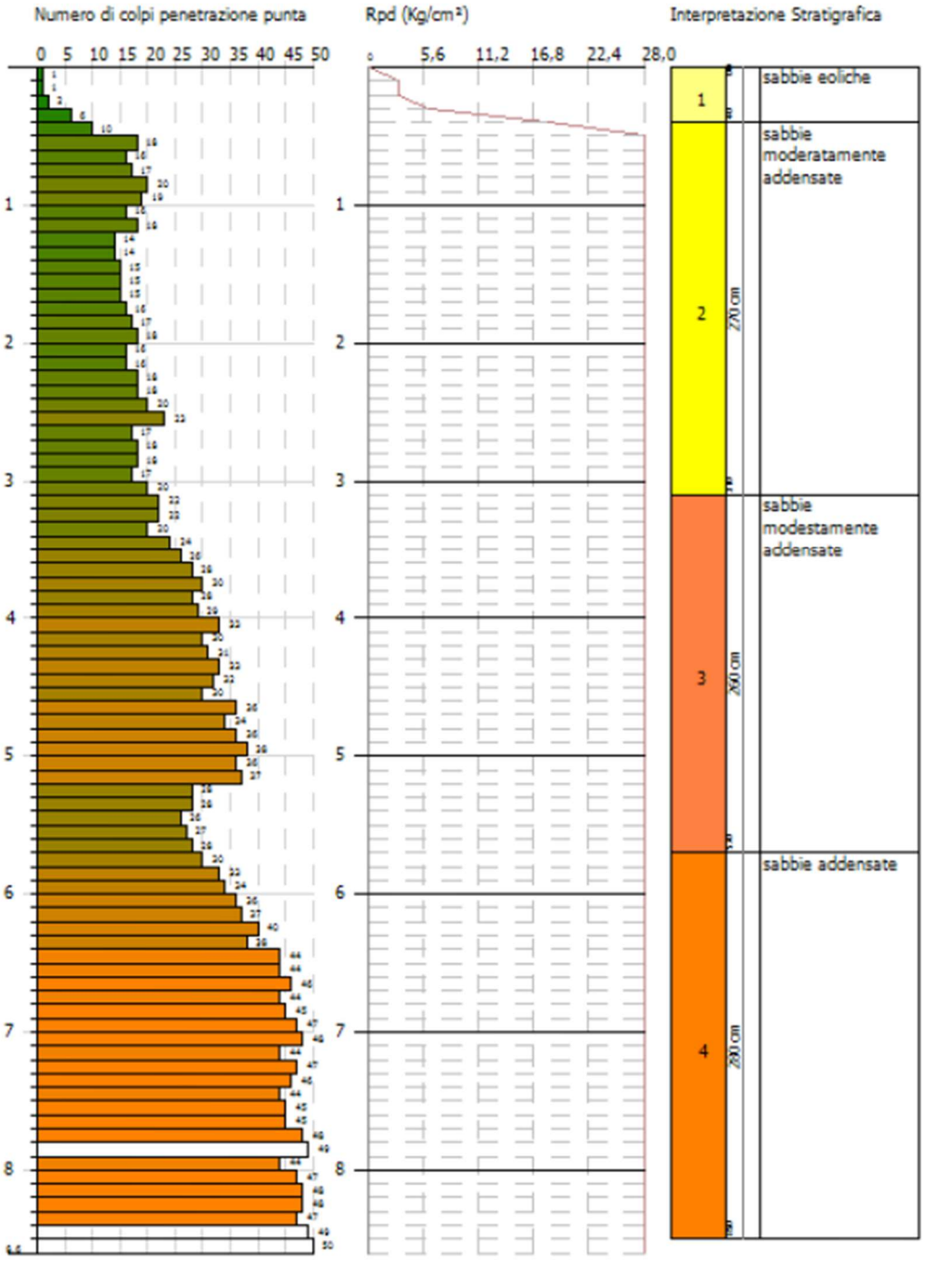
DPM10

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 10
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

29/05/2024

Scala 1:40



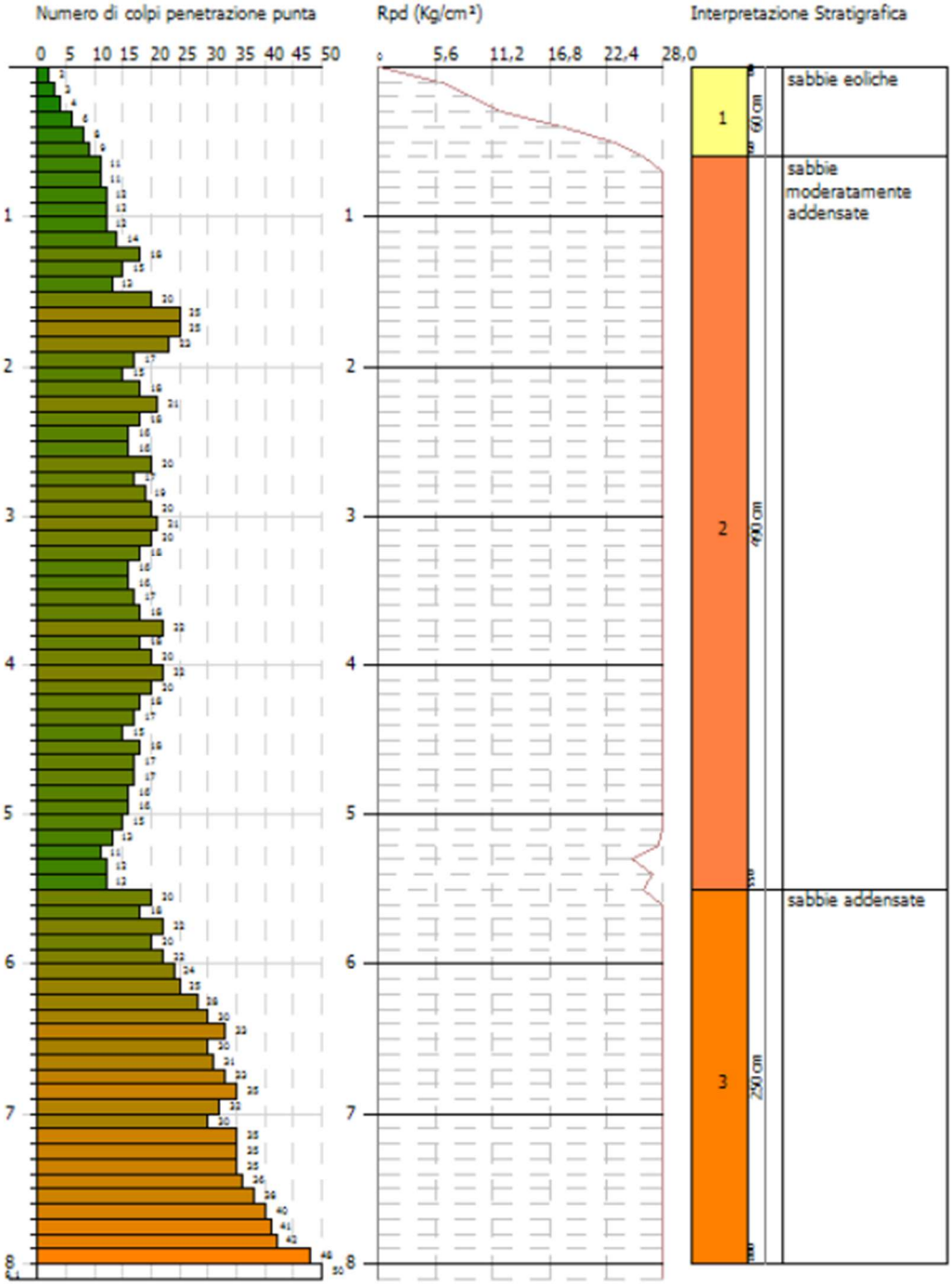
DPM11

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 11
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

29/05/2024

Scala 1:38



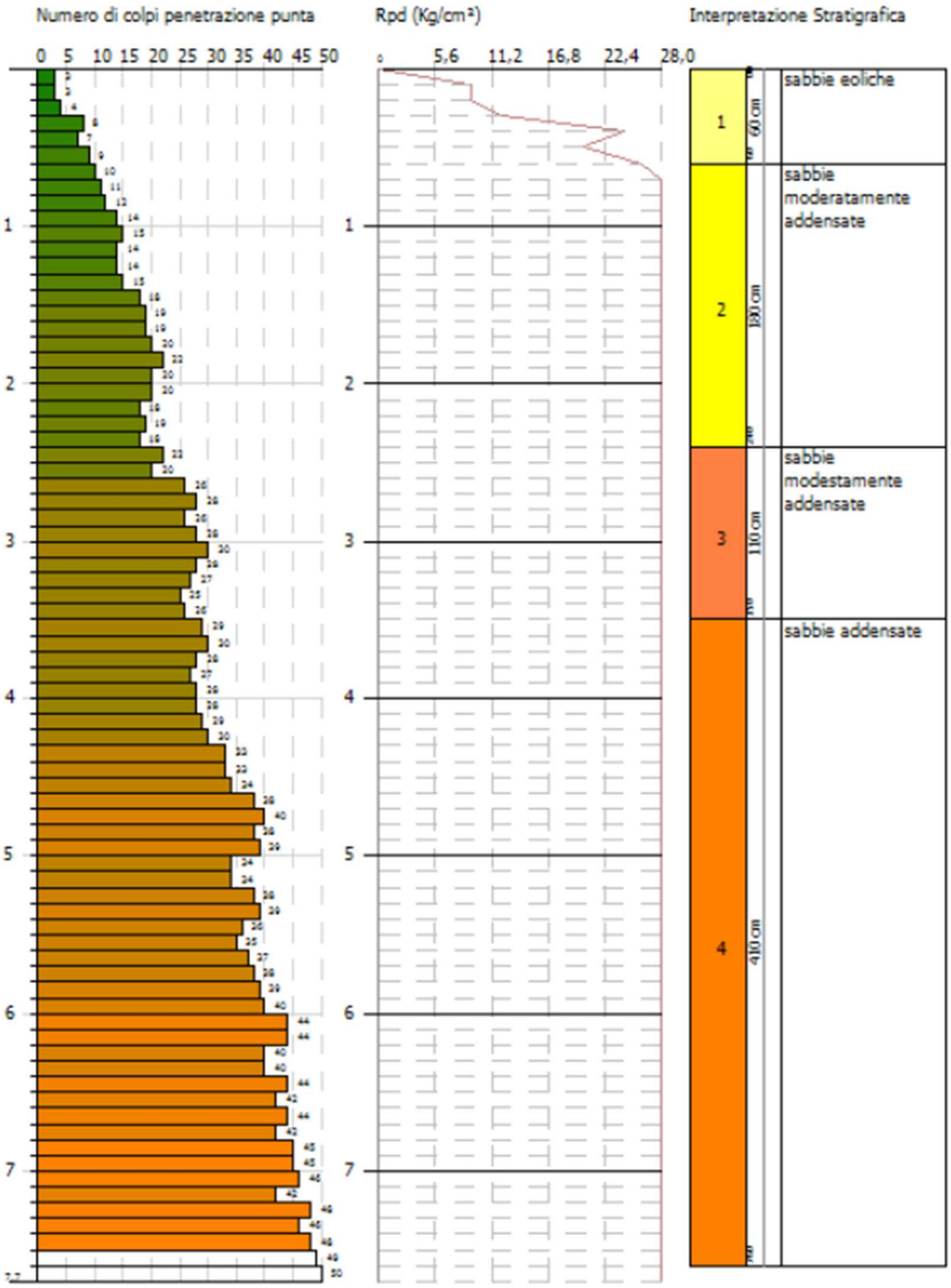
DPM12

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 12
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

29/05/2024

Scala 1:36



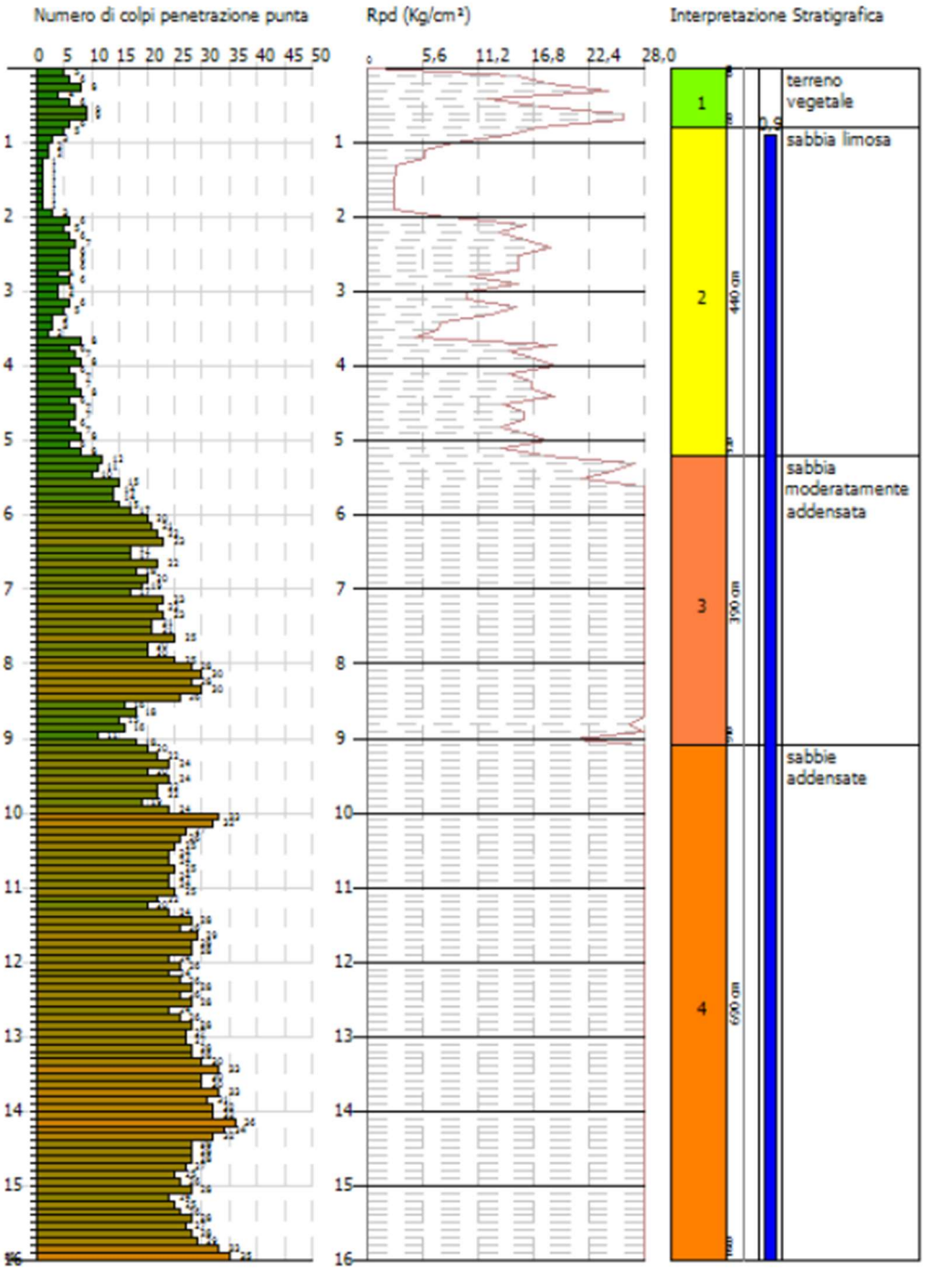
DPM13

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 13
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

29/05/2024

Scala 1:74



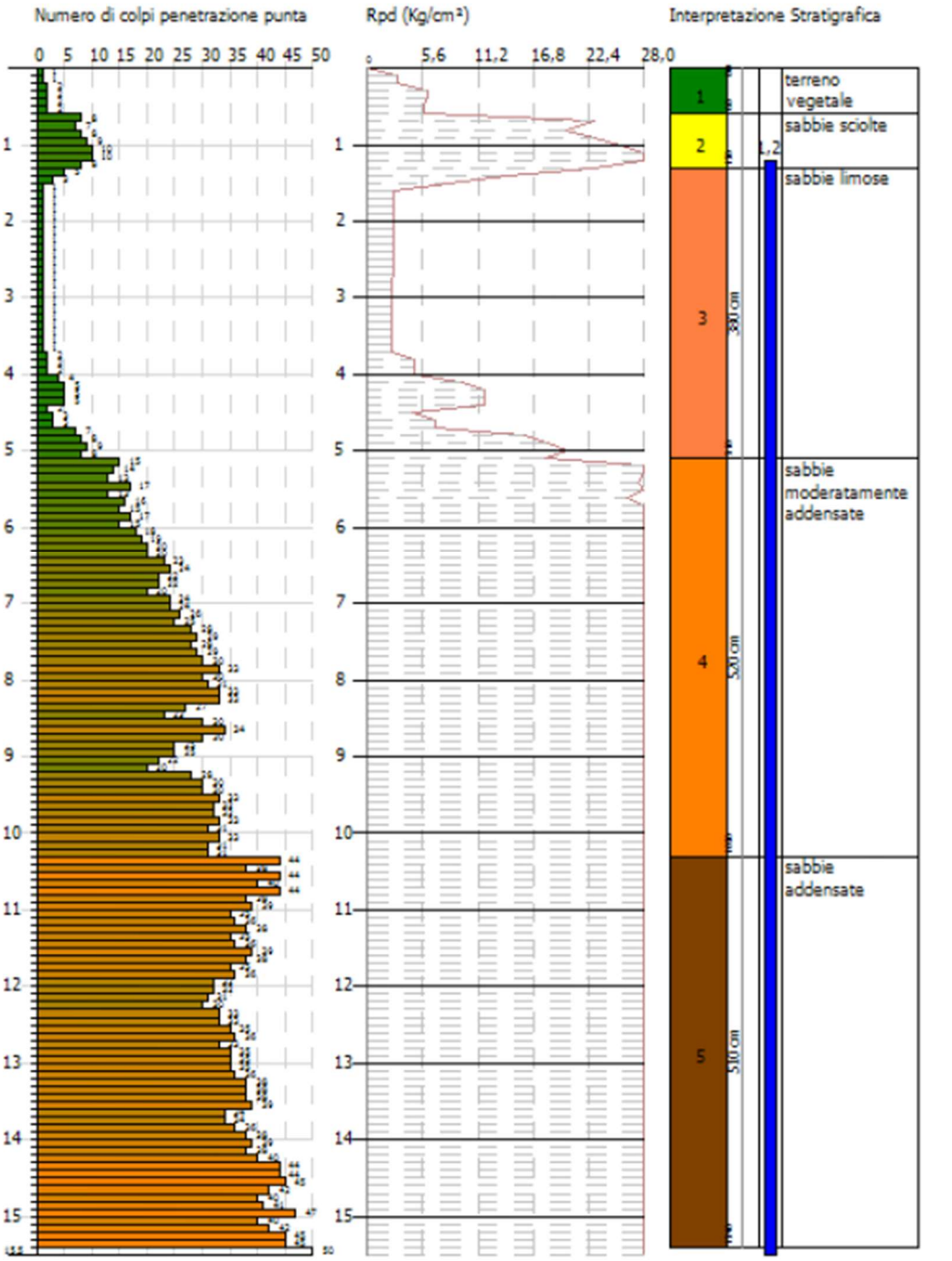
DPM14

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 14
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

29/05/2024

Scala 1:72



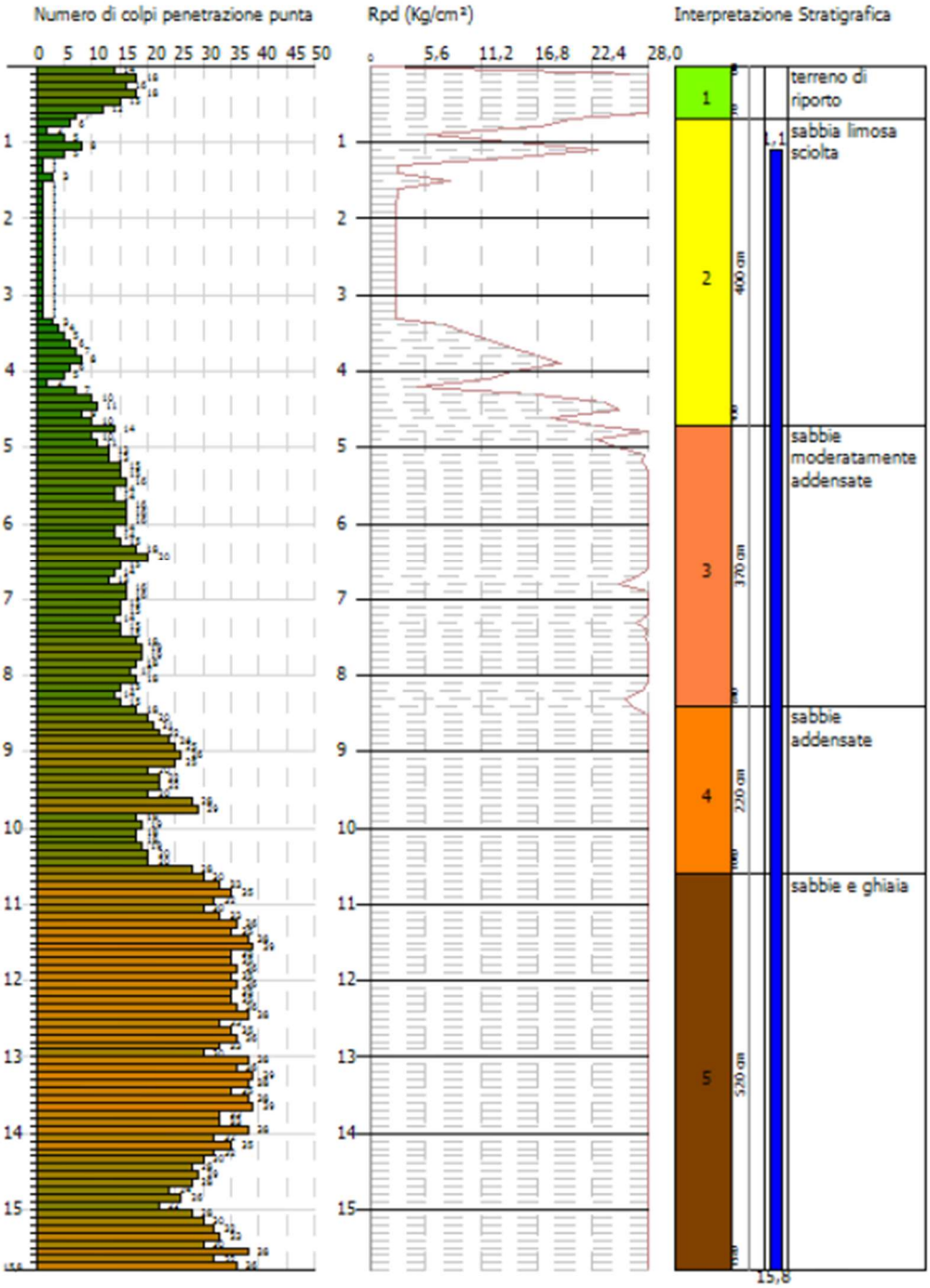
DPM15

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 15
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

29/05/2024

Scala 1:73



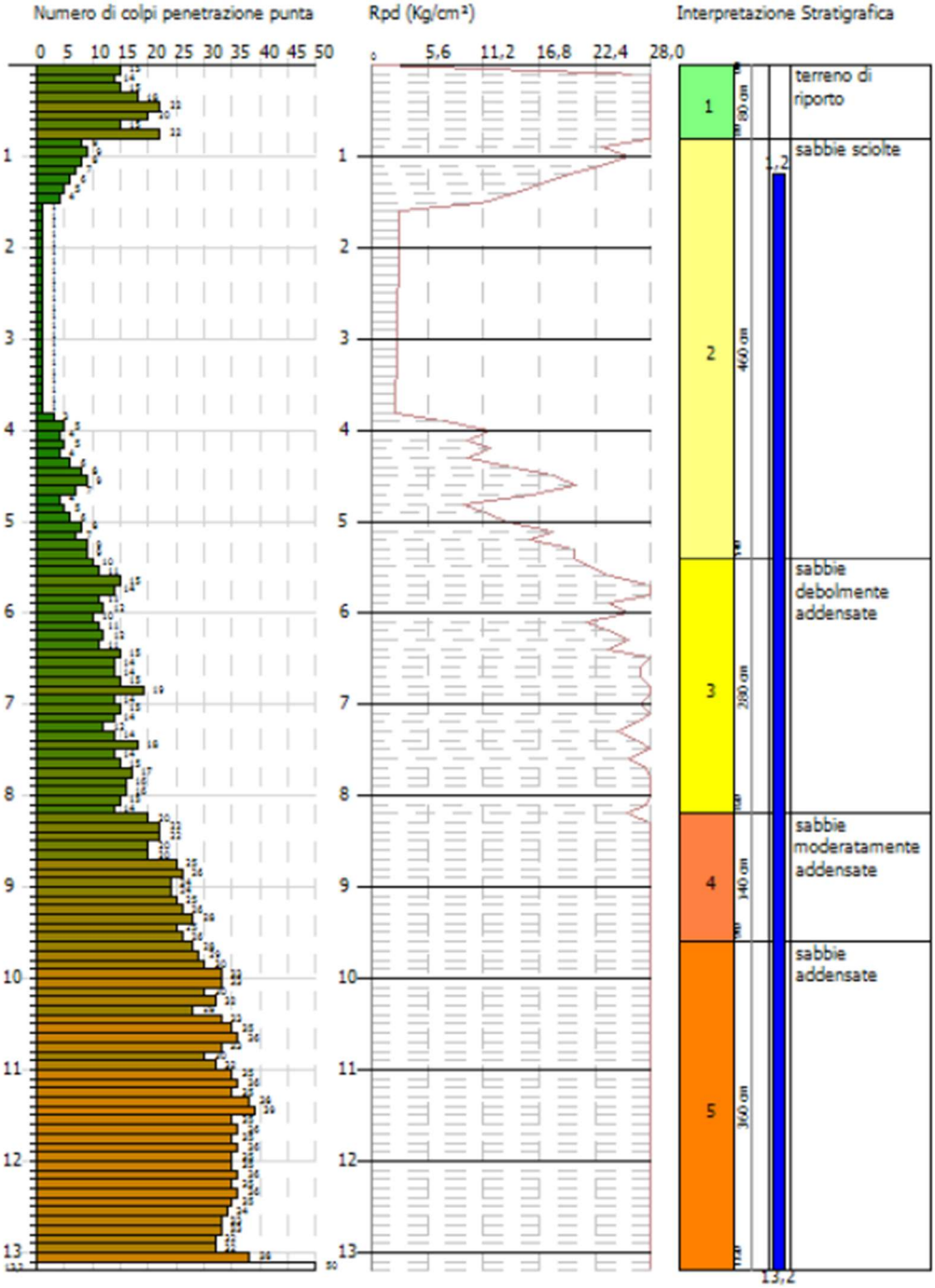
DPM16

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 16
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

29/05/2024

Scala 1:61



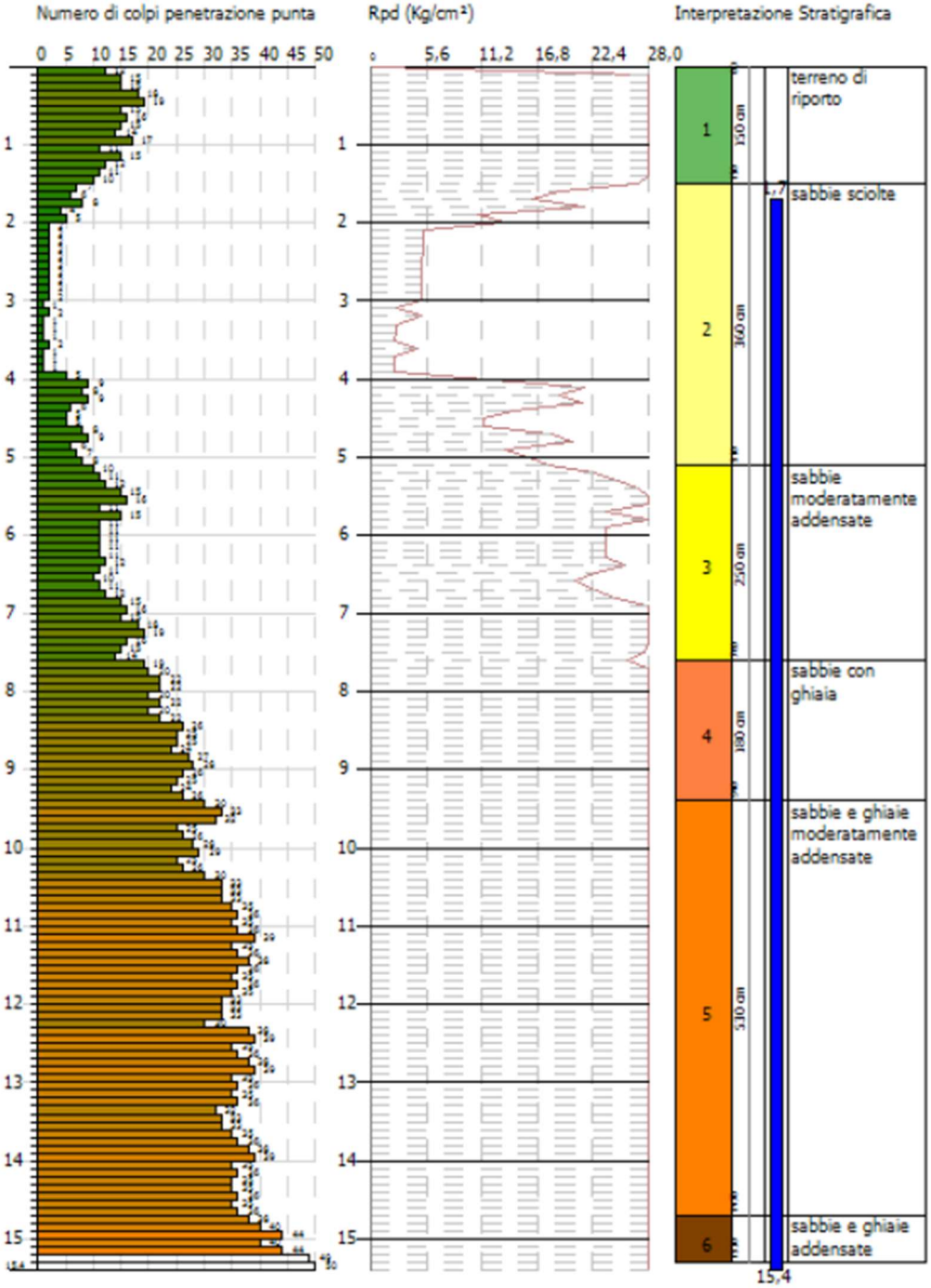
DPM17

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 17
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

29/05/2024

Scala 1:71



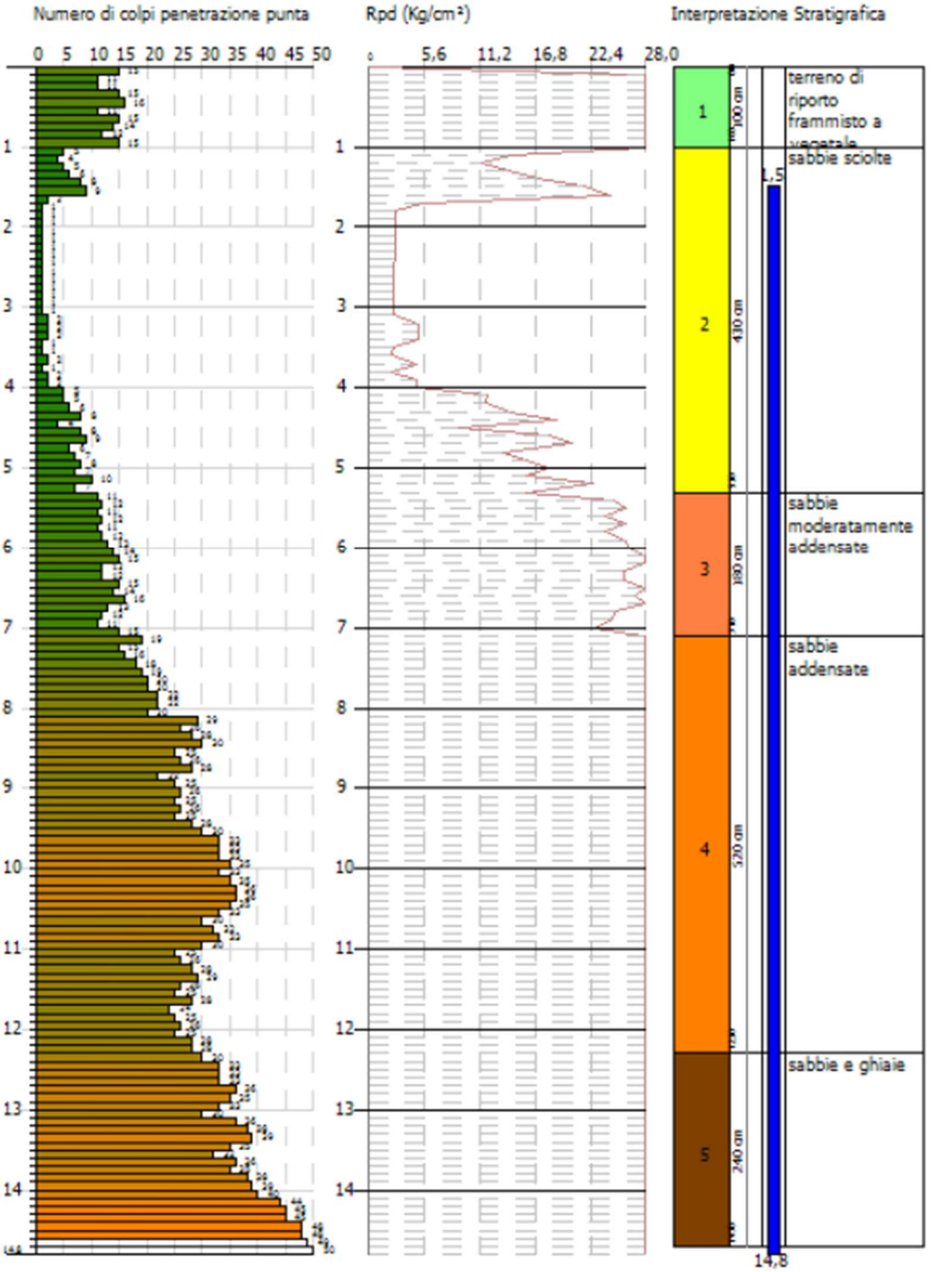
DPM18

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 18
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

29/05/2024

Scala 1:69



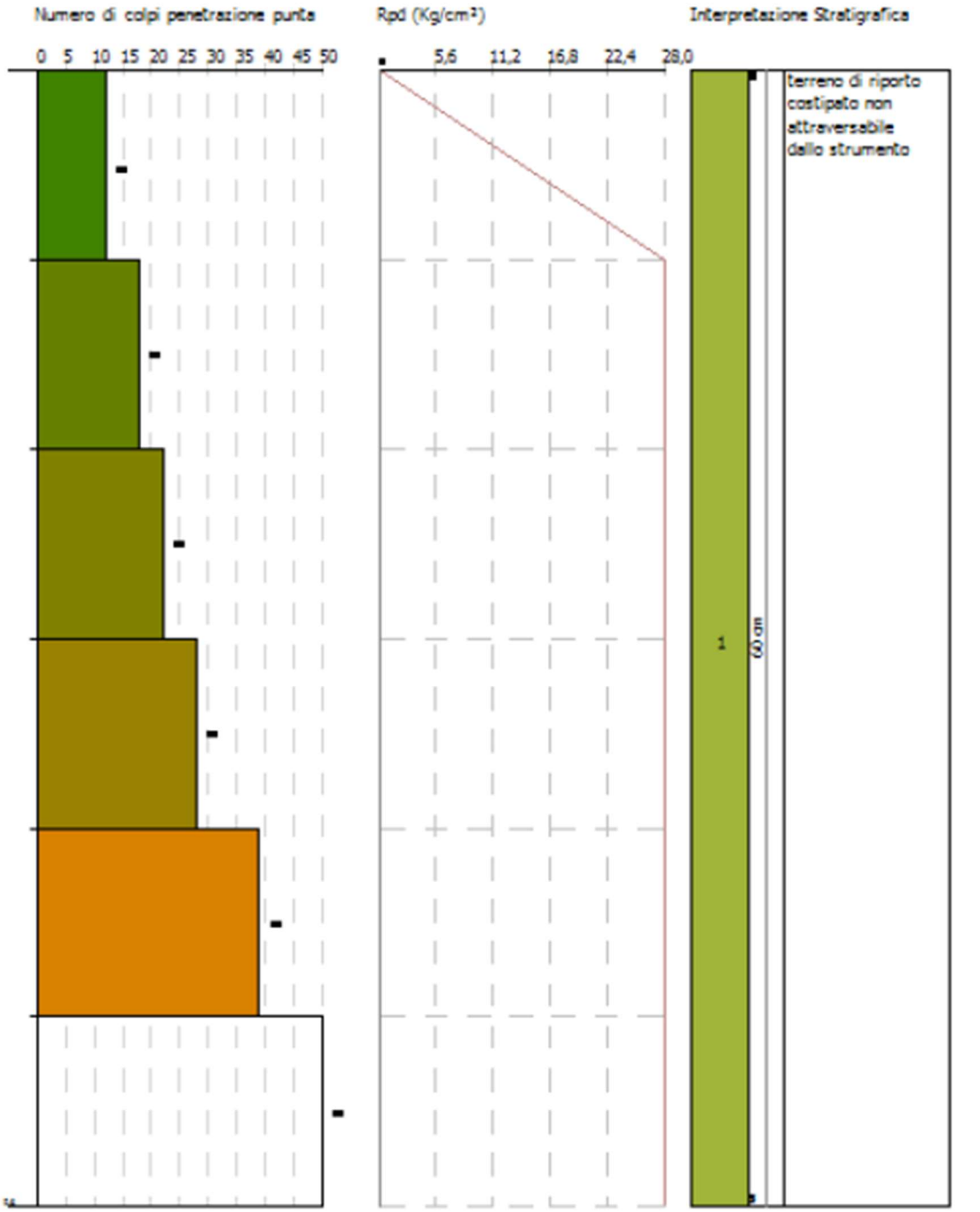
DPM19

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 19
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

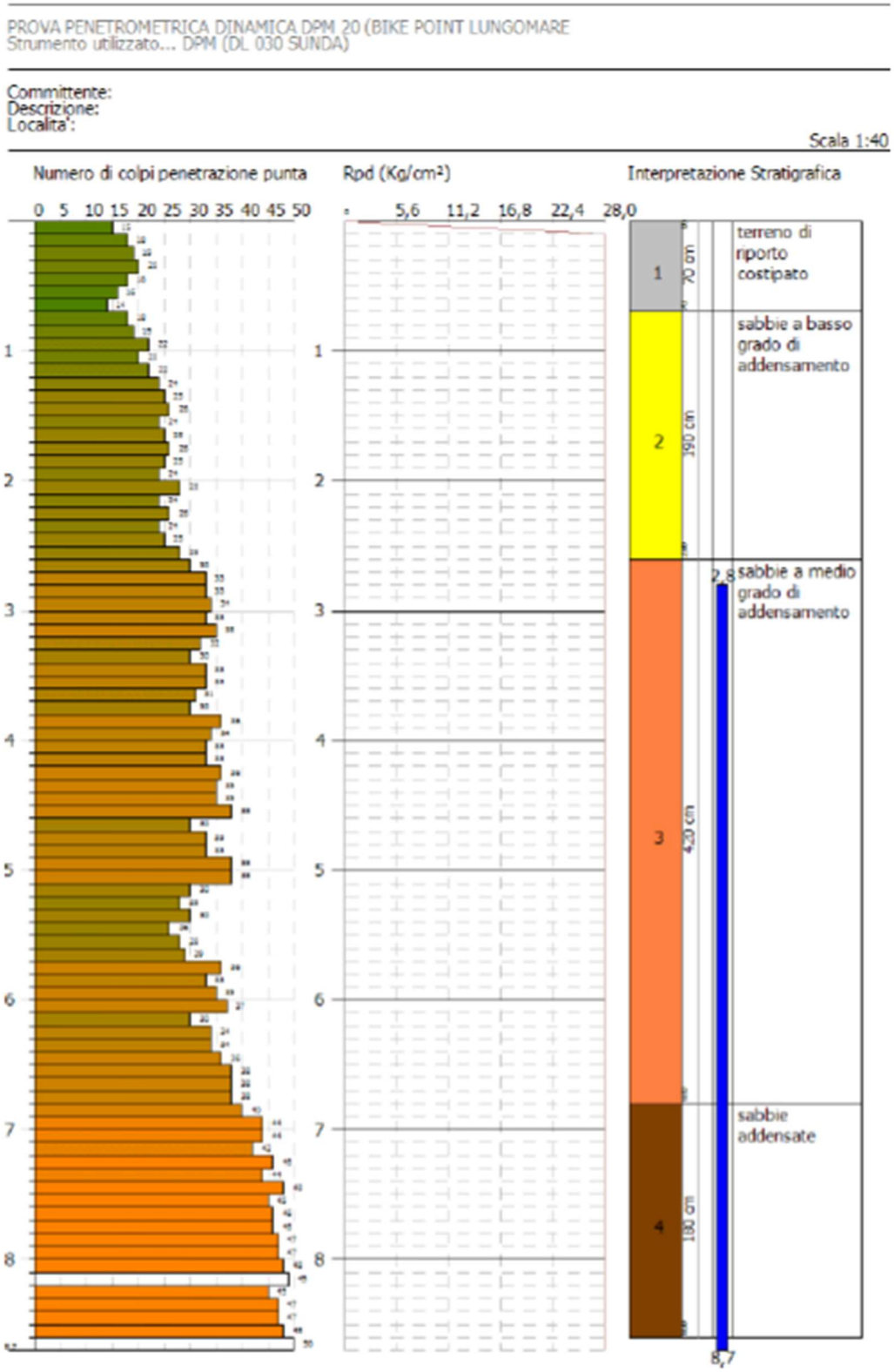
29/05/2024

Scala 1:3

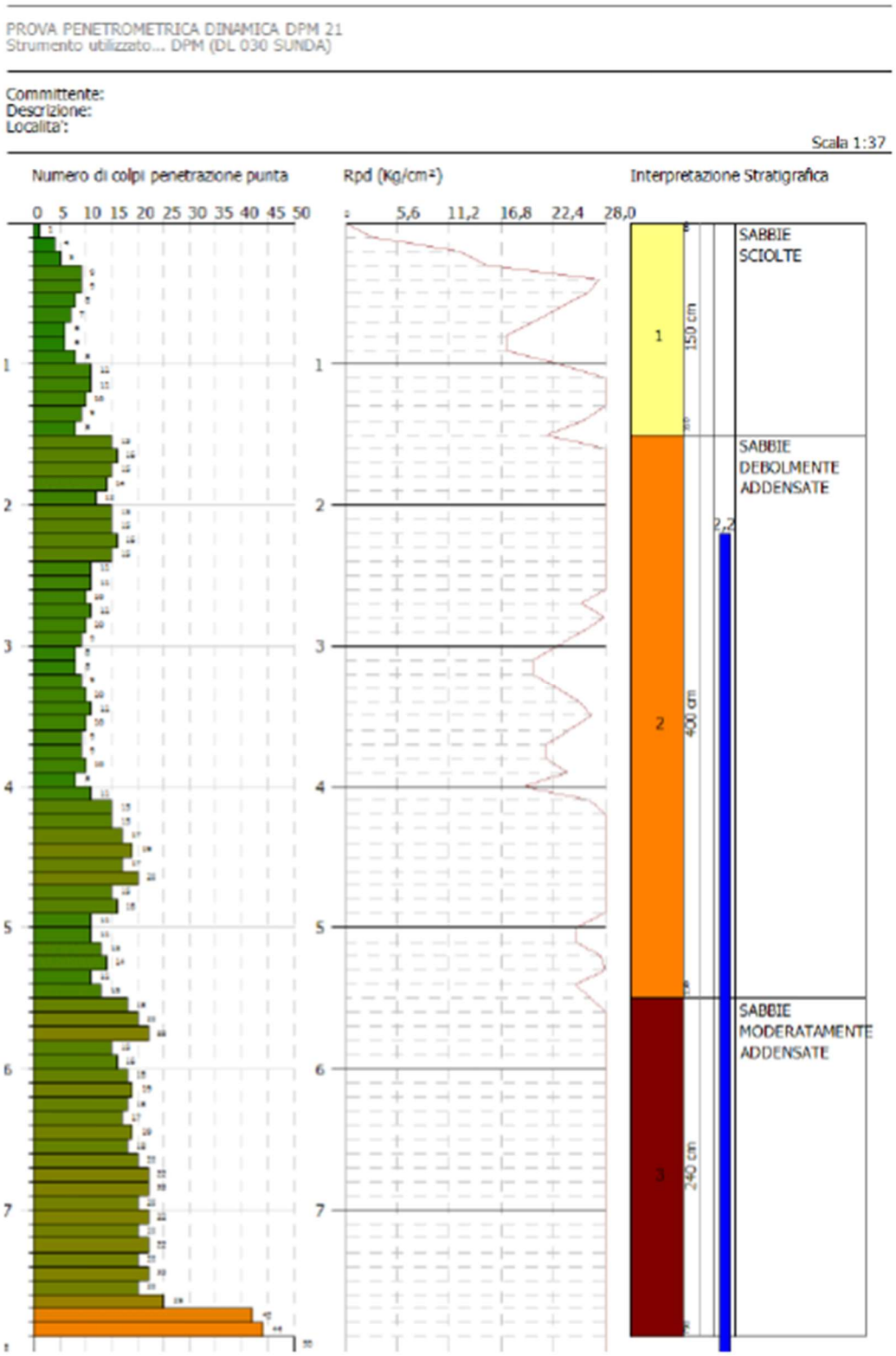


FASE 2

DPM20


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 20 (BIKE POINT LUNGOMARE
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)
Committente:
Descrizione:
Localita':
Scala 1:40
Numero di colpi penetrazione punta
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
Rpd (Kg/cm²)
5,6 11,2 16,8 22,4 28,0
Interpretazione Stratigrafica
1
2
3
4
5
6
7
8
70 cm
390 cm
420 cm
180 cm
terreno di riporto costipato
sabbie a basso grado di addensamento
sabbie a medio grado di addensamento
sabbie addensate
2,8
8,7

DPM21

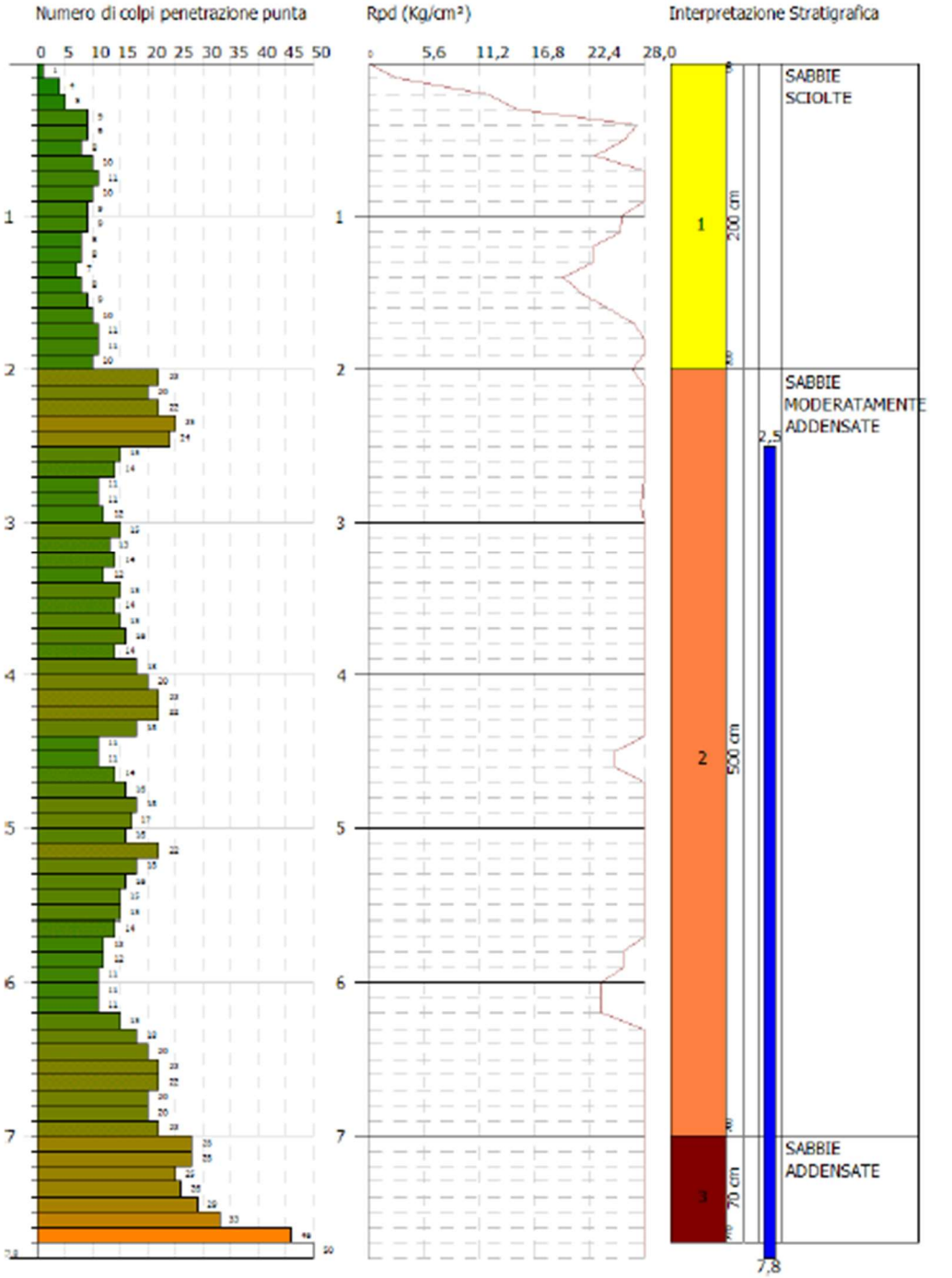

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 21
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)
Committente:
Descrizione:
Localita':
Scala 1:37
Numero di colpi penetrazione punta
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
Rpd (Kg/cm²)
5,6 11,2 16,8 22,4 28,0
Interpretazione Stratigrafica
1 2 3 4 5 6 7
150 cm
400 cm
240 cm
2,2
SABBIE SCIOLTE
SABBIE DEBOLMENTE ADDENSATE
SABBIE MODERATAMENTE ADDENSATE

DPM22

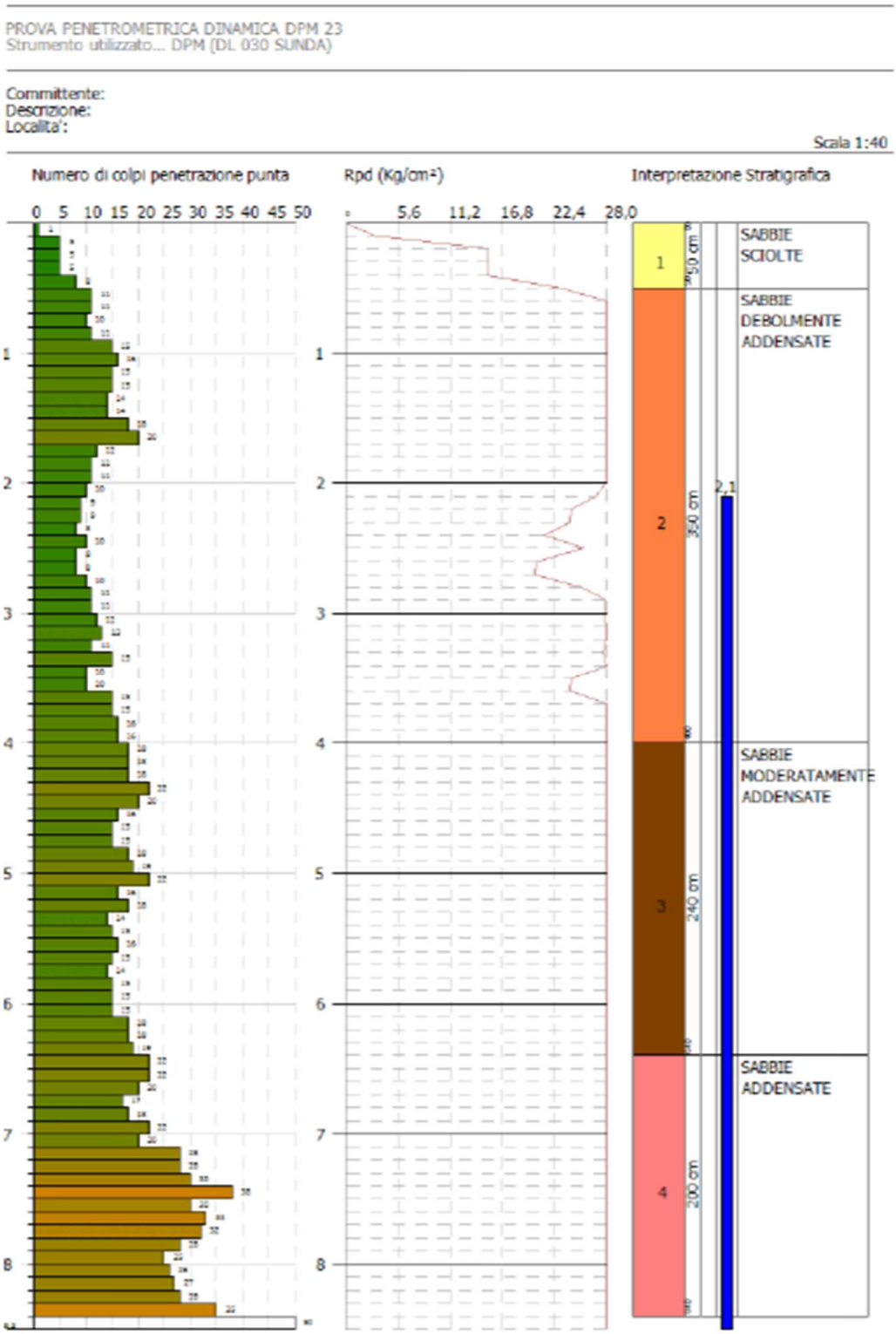
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 22
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

Scala 1:36



DPM23


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 23
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)
Committente:
Descrizione:
Localita':
Scala 1:40
Numero di colpi penetrazione punta
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
Rpd (Kg/cm²)
5,6 11,2 16,8 22,4 28,0
Interpretazione Stratigrafica
1
2
3
4
5
6
7
8
50 cm
350 cm
240 cm
200 cm
2,1
SABBIE SCIOLTE
SABBIE DEBOLMENTE ADDENSATE
SABBIE MODERATAMENTE ADDENSATE
SABBIE ADDENSATE

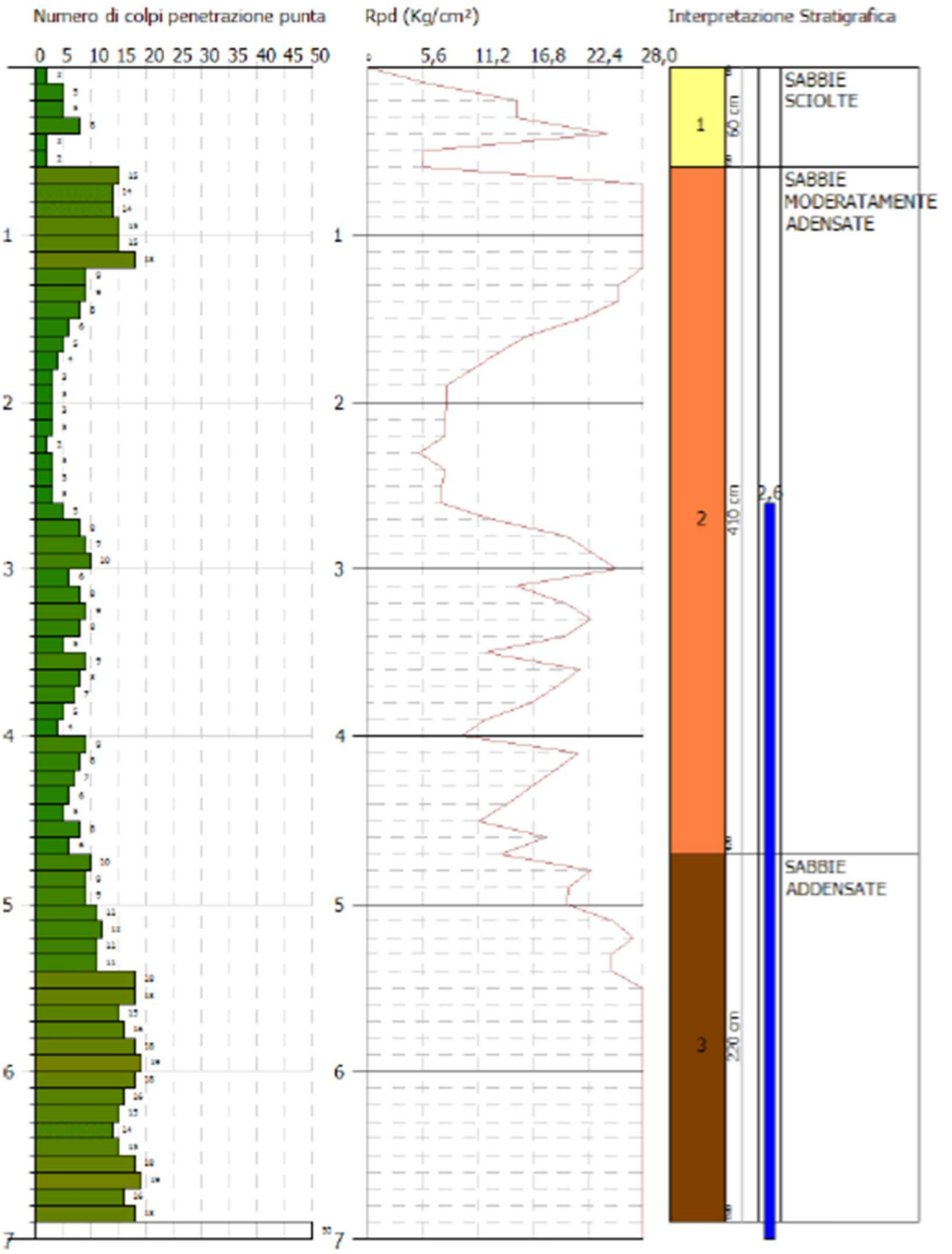
DPM24

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 24
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

16/07/2024

Scala 1:33



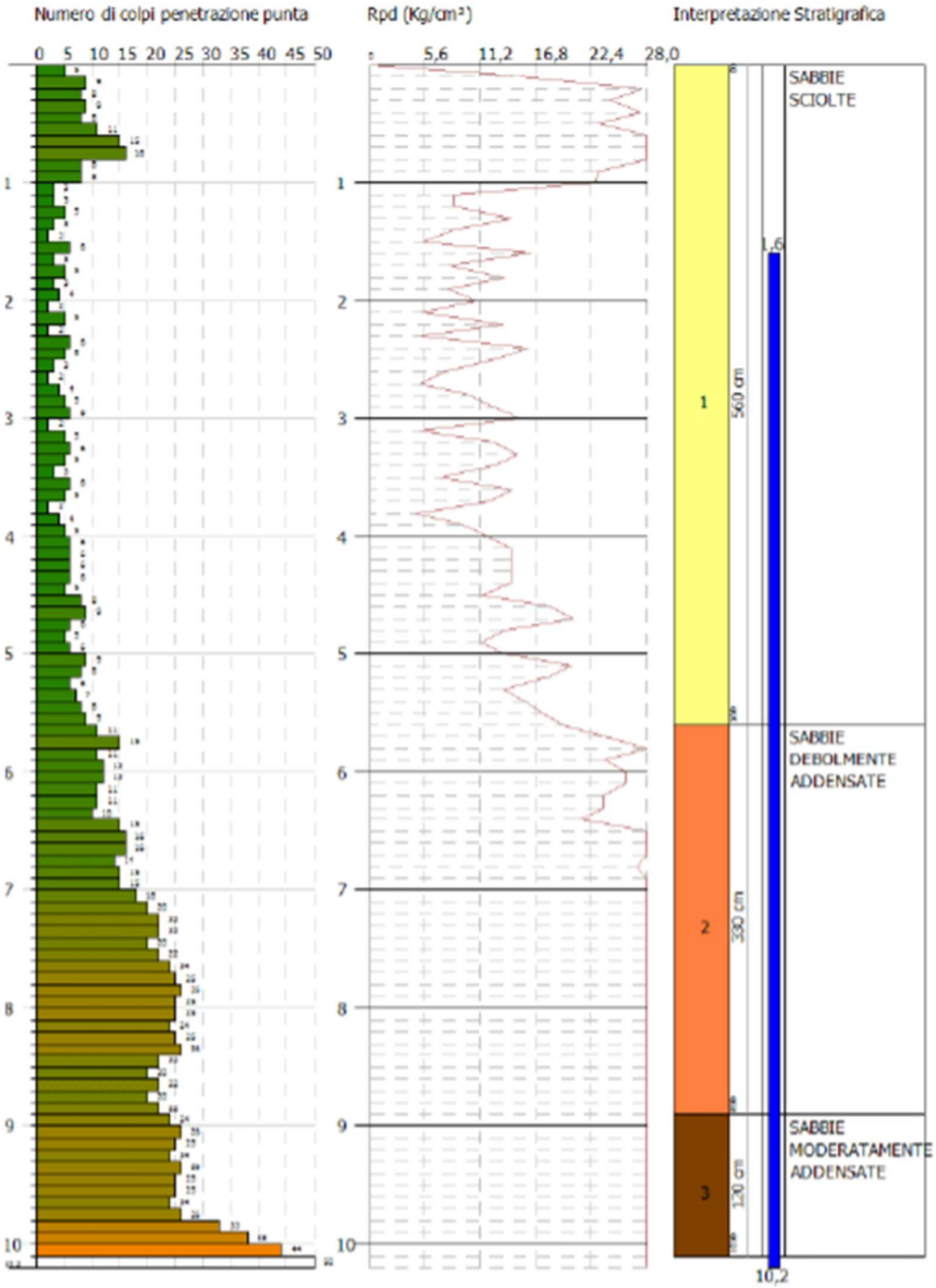
DPM25

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 25
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

16/07/2024

Scala 1:47



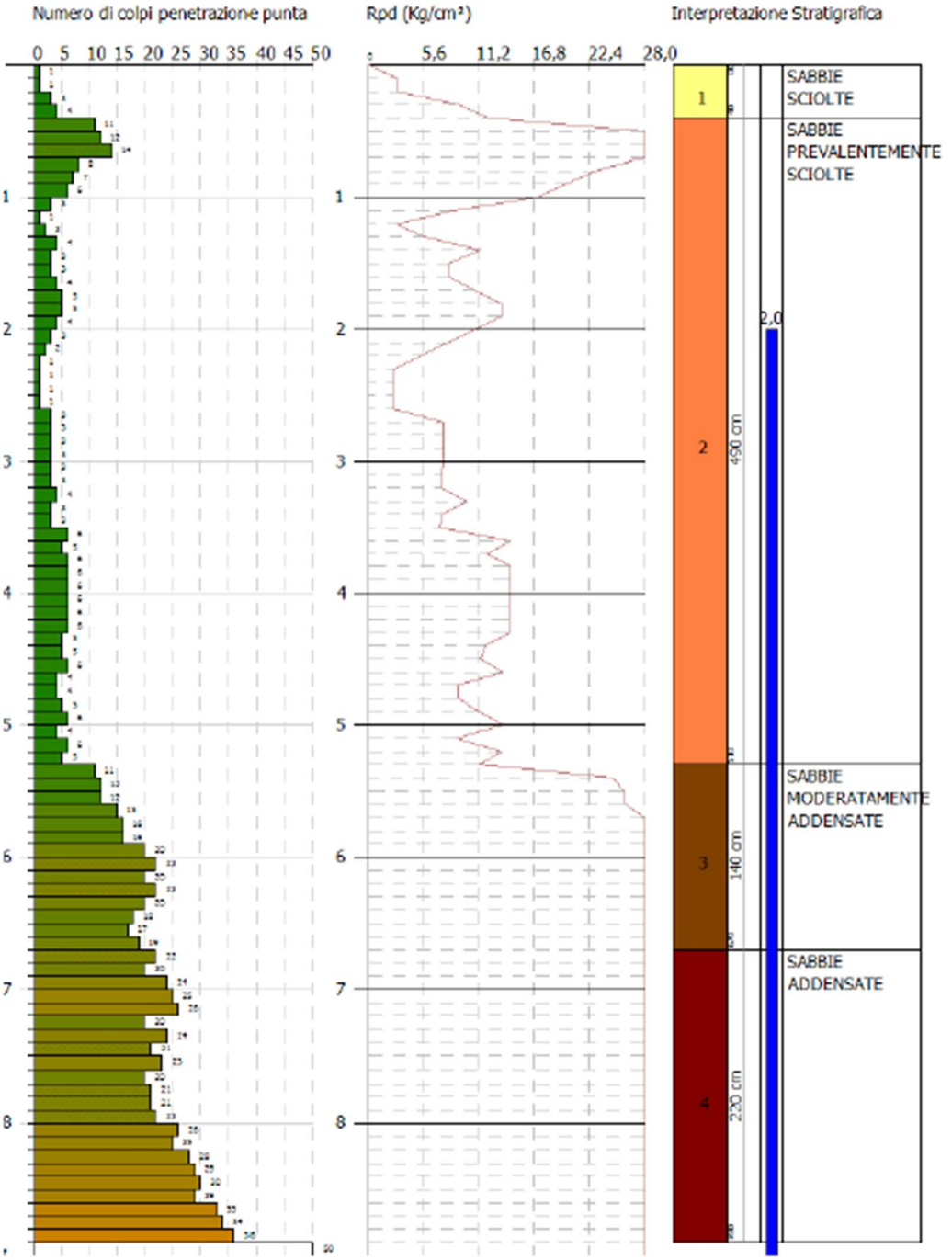
DPM26

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 26
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

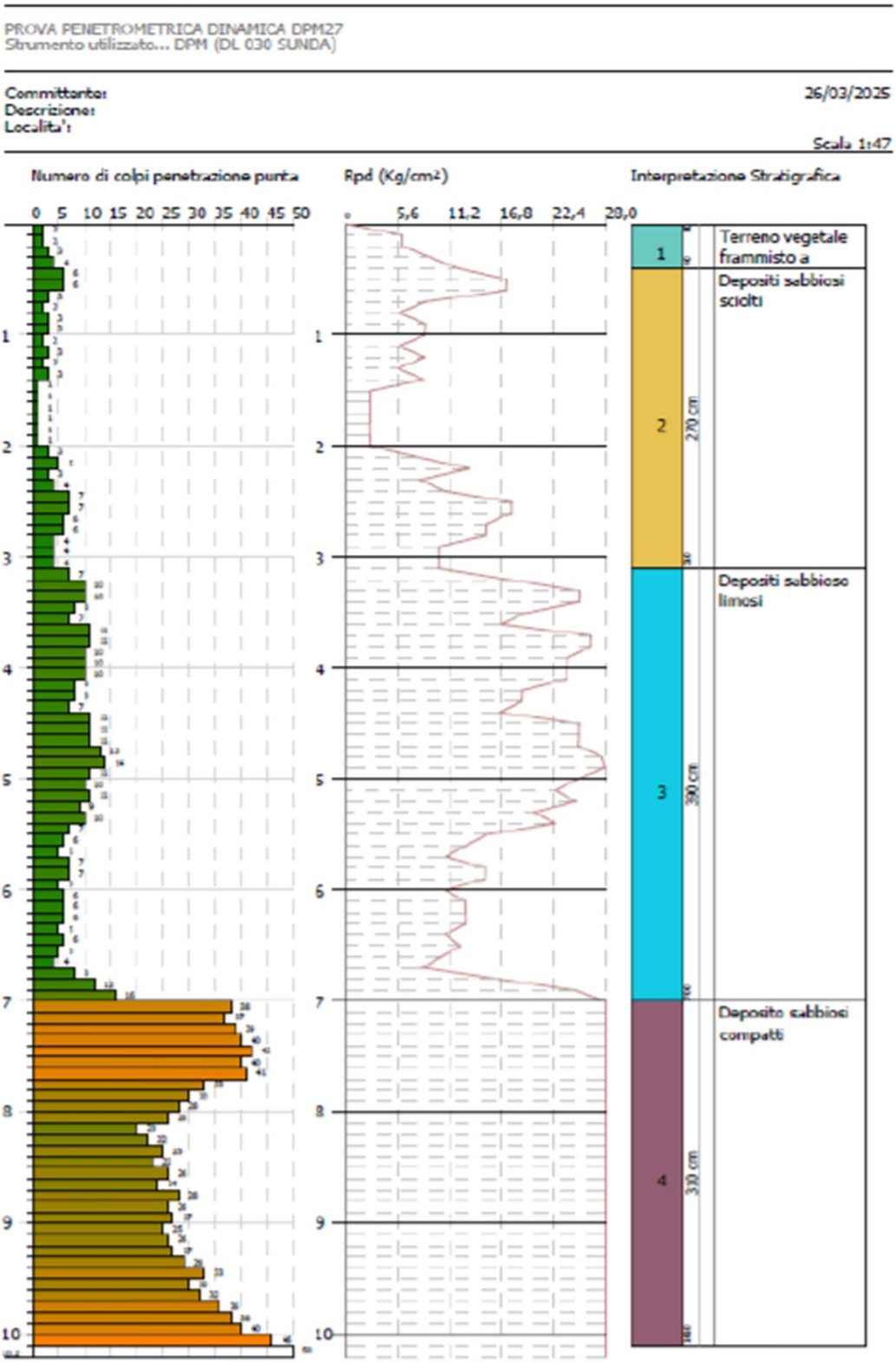
16/07/2024

Scala 1:42



FASE 3

DPM27


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM27
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)
Committente:
Descrizione:
Localita':
26/03/2025
Scala 1:47
Numero di colpi penetrazione punta
Rpd (Kg/cm²)
Interpretazione Stratigrafica
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50
0 5,6 11,2 16,8 22,4 28,0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
1
Terreno vegetale frammisto a
2
270 cm
Depositi sabbiosi sciolti
3
390 cm
Depositi sabbioso limosi
4
330 cm
Deposito sabbiosi compatti

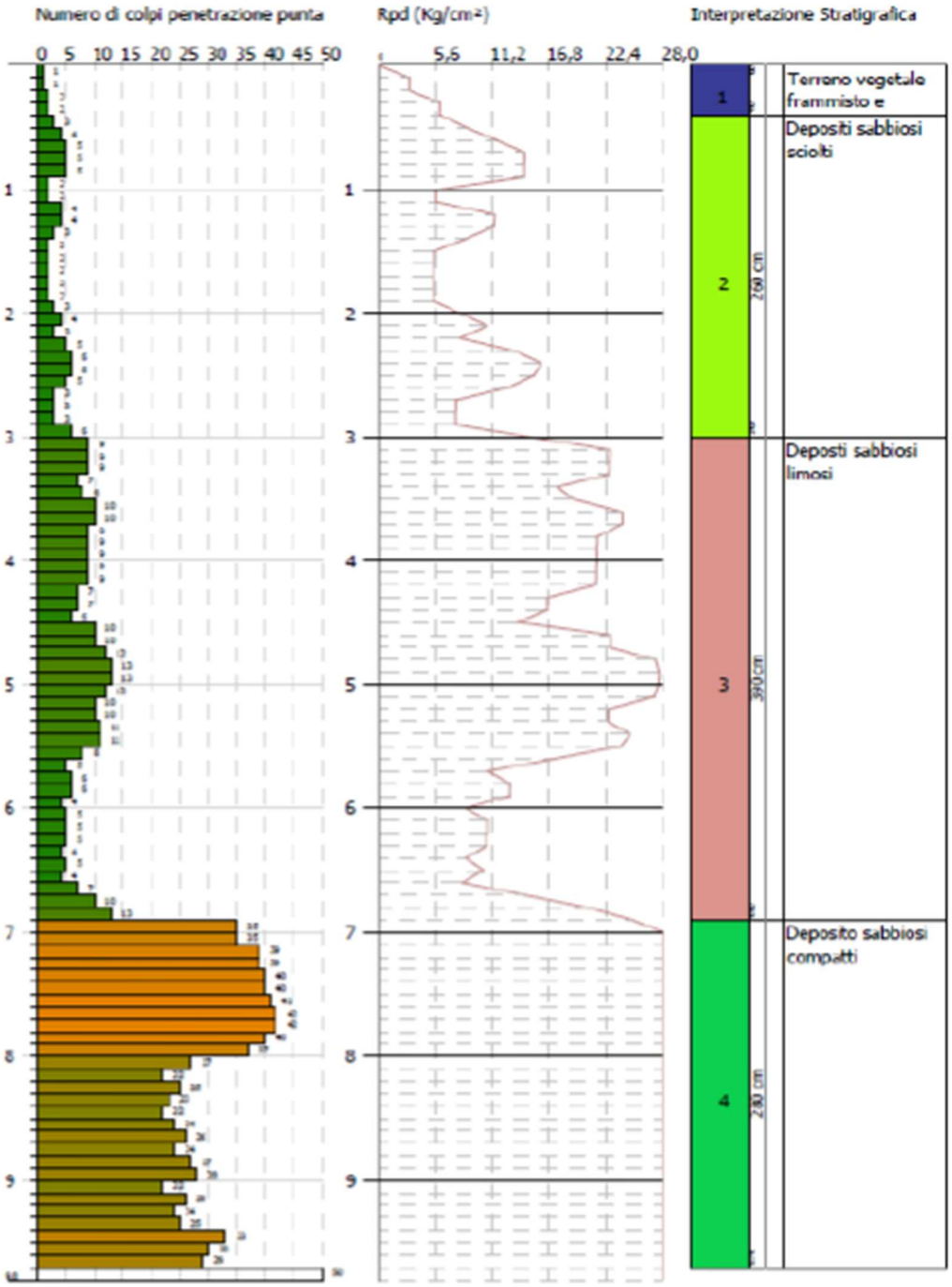
DPM28

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM28
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

26/03/2025

Scala 1:46



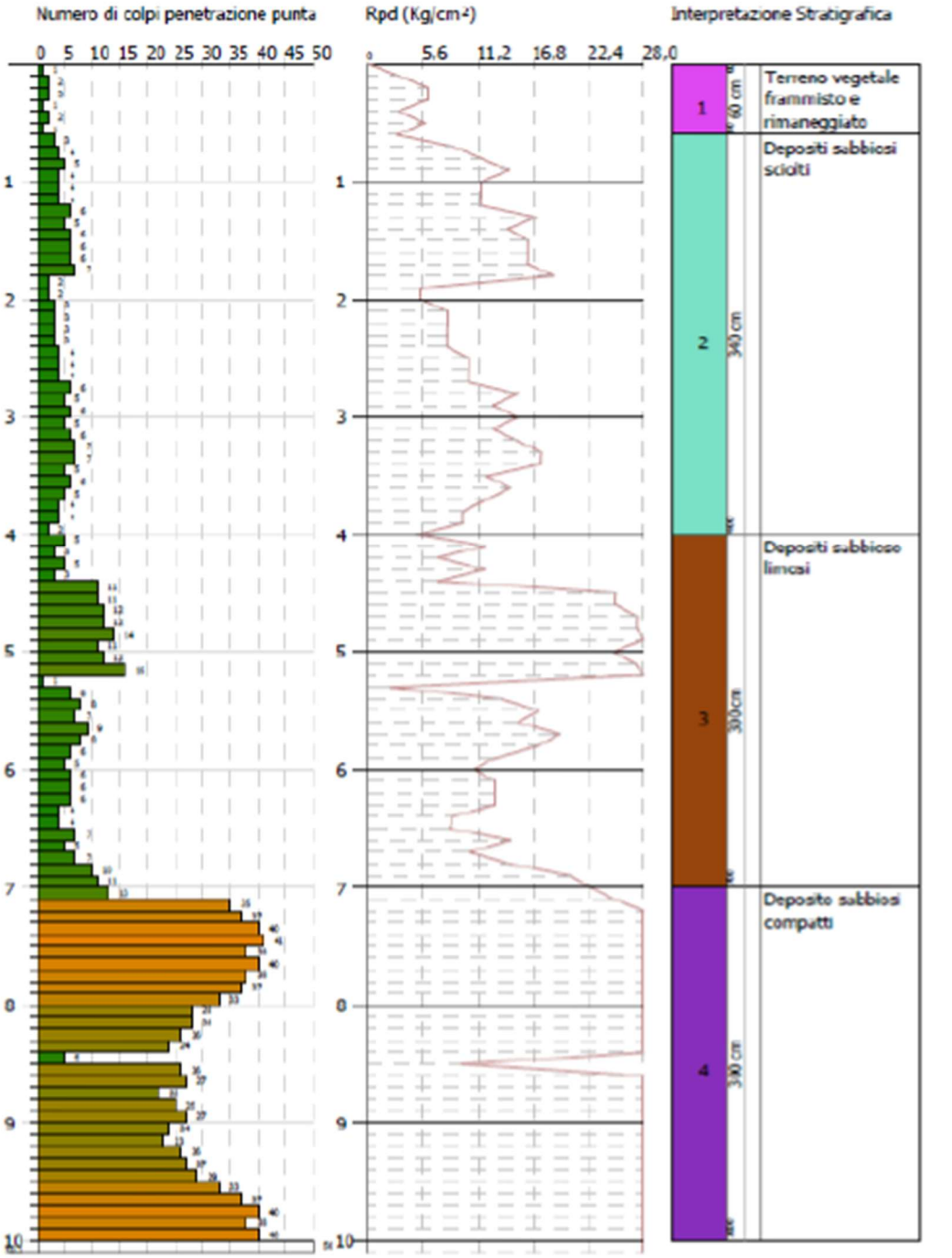
DPM29

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DMP29
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

26/03/2025

Scala 1:47



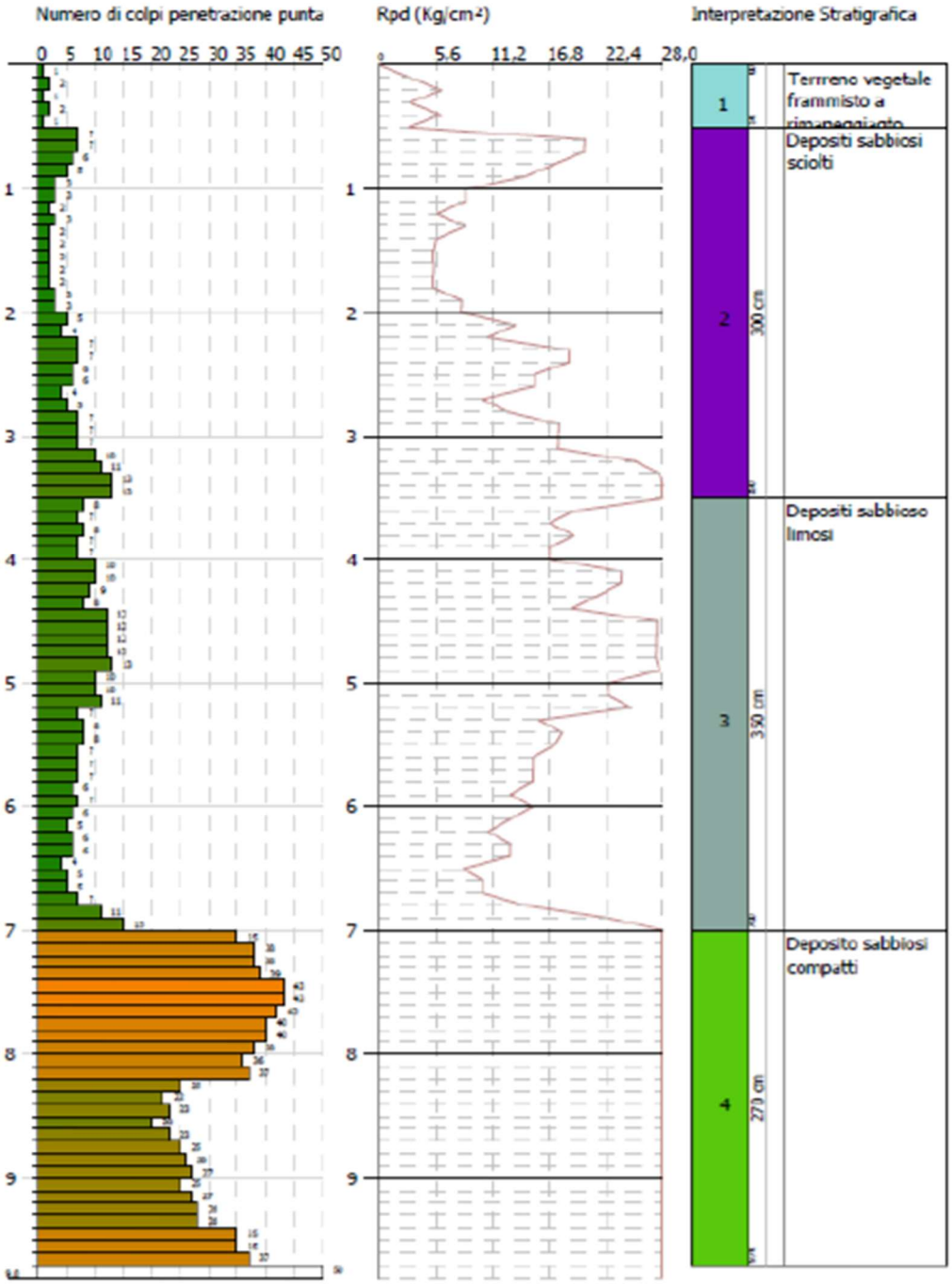
DPM30

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM30
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

26/03/2025

Scala 1:46



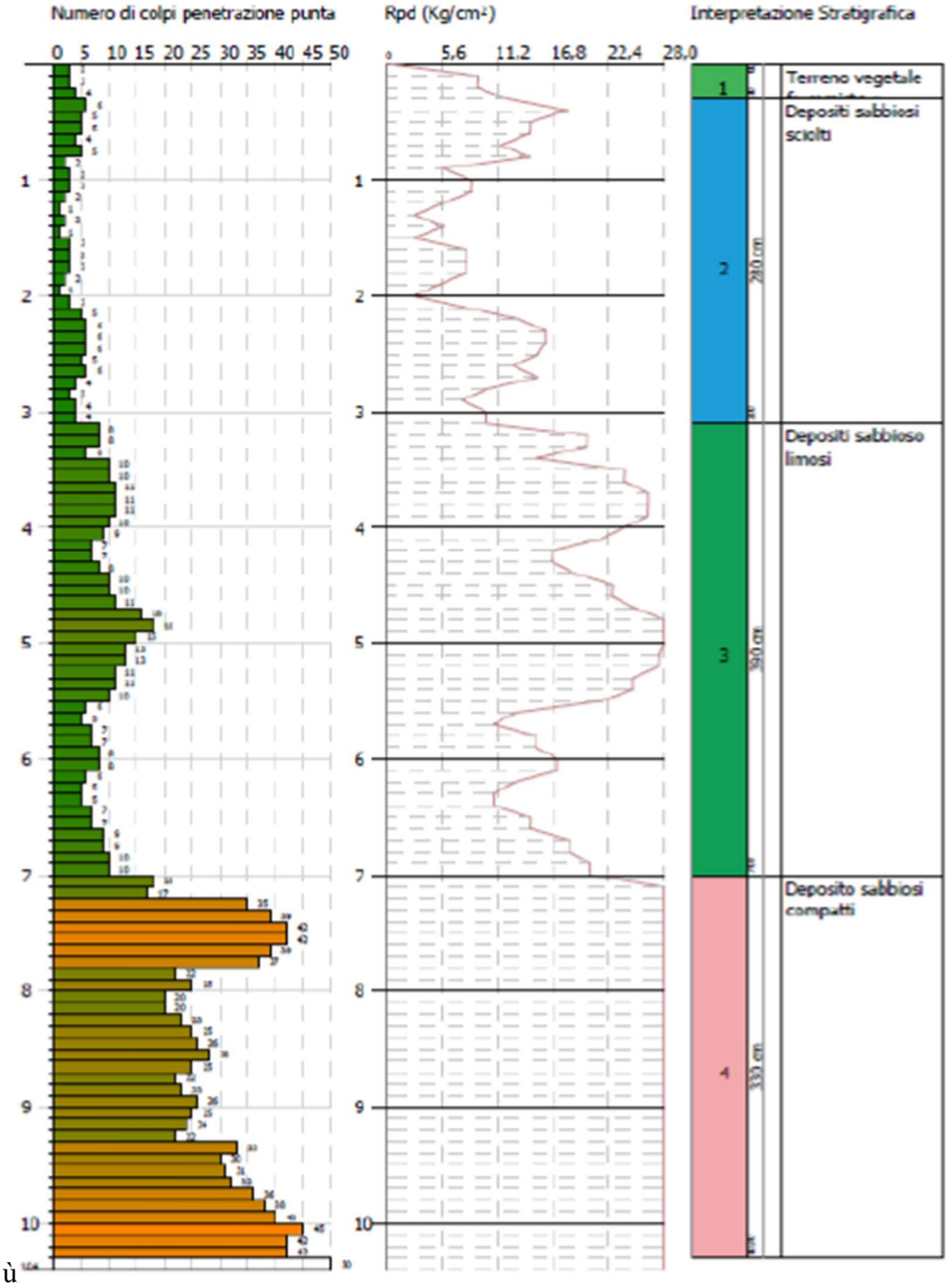
DPM31

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM31
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente:
Descrizione:
Localita':

26/03/2025

Scala 1:48



ù

7.3 Indagini Geofisiche

7.3.1 MASW

Il metodo M.A.S.W. (Multichanel Analysis of Surface Waves) è una tecnica d'indagine, non invasiva, basata sullo studio della propagazione delle onde superficiali nel terreno. Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti nelle 3 differenti fasi.

FASE 1

MASW4

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

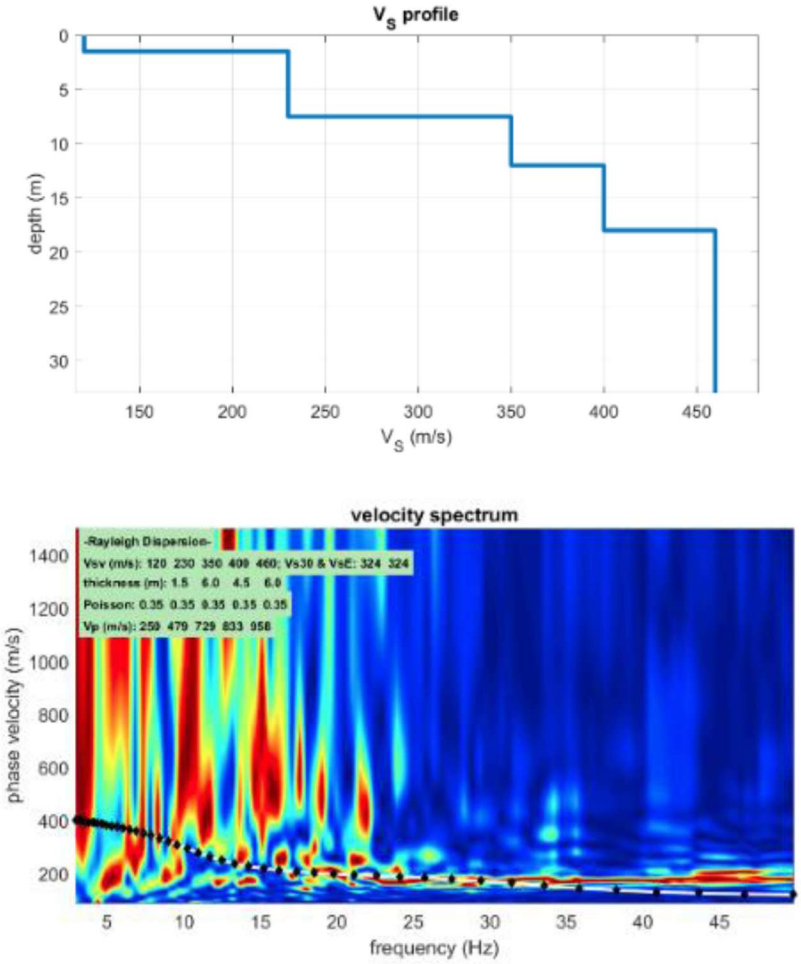


Figura 7.5 - Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio.

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	4,0	1.5	120	250	1,70	25	0,35	2,080
2	10,0	6,0	230	480	1,80	100	0,34	2,080
3	16,0	4,5	350	730	1,90	240	0,34	2,080
4	23,0	6,0	400	830	2,00	320	0,33	2,080
5	ind	ind	460	960	2,00	430	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 324								

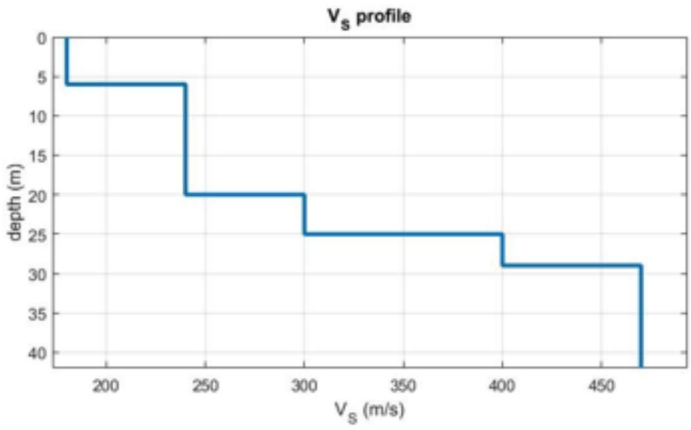
Tabella 7.3 - Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle Vs.

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ **Cat. C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW5

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:



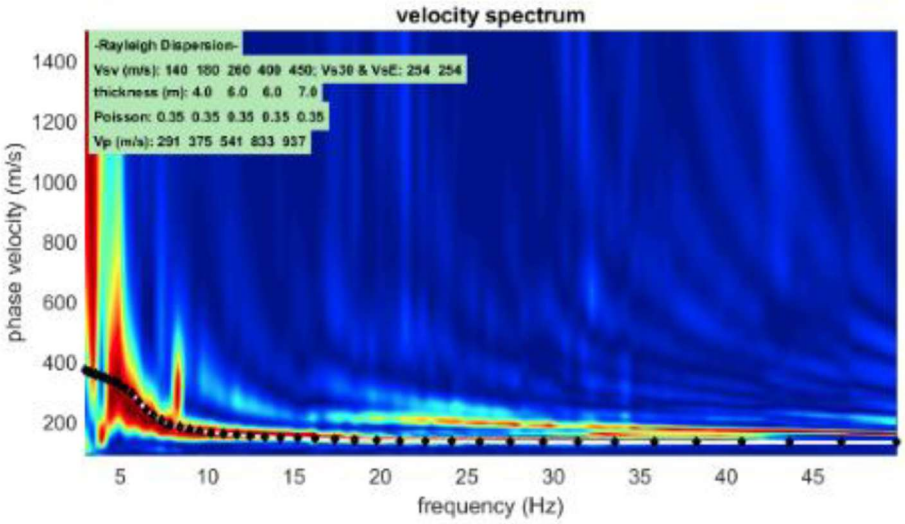


Figura 7.6 - Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio.

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	6,0	6.0	180	375	1,70	60	0,35	2,080
2	20,0	14,0	240	500	1,80	110	0,34	2,080
3	25,0	5,0	300	620	1,90	175	0,34	2,080
4	29,0	4,0	400	830	2,00	320	0,33	2,080
5	ind	ind	470	980	2,00	450	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 250								

Tabella 7.4 - Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle Vs.

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ **Cat. C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW6

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

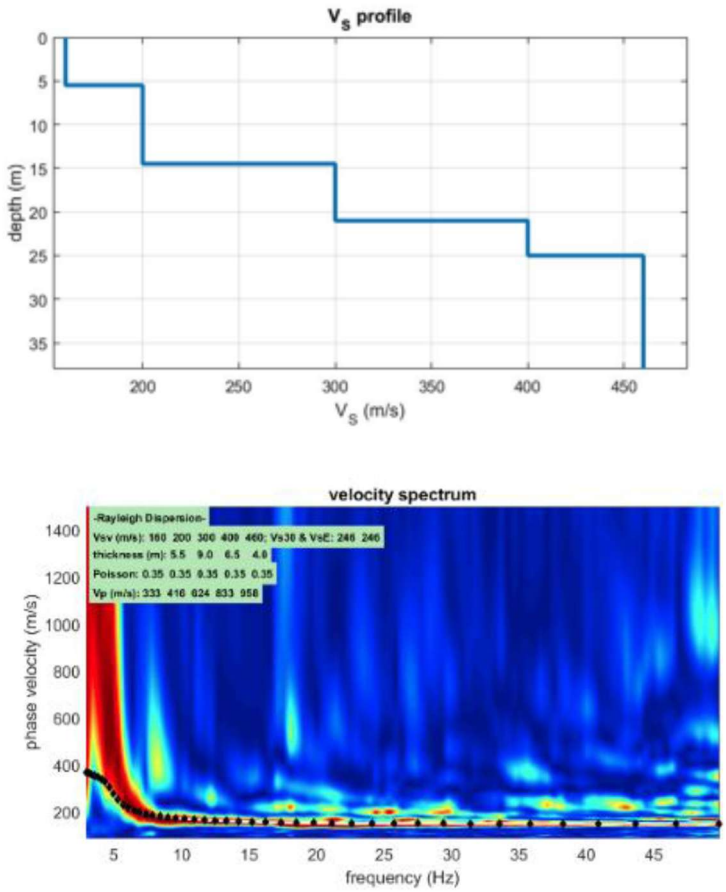


Figura 7.7 - Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio.

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	5,5	5.5	160	330	1,80	50	0,35	2,080
2	14,0	9,0	200	420	1,85	75	0,34	2,080
3	21,0	6,5	310	620	1,95	175	0,34	2,080
4	25,0	4,0	405	830	2,00	320	0,33	2,080
5	ind	ind	460	960	2,05	430	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 245								

Tabella 7.5 - Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle Vs.

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ **Cat. C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW7

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

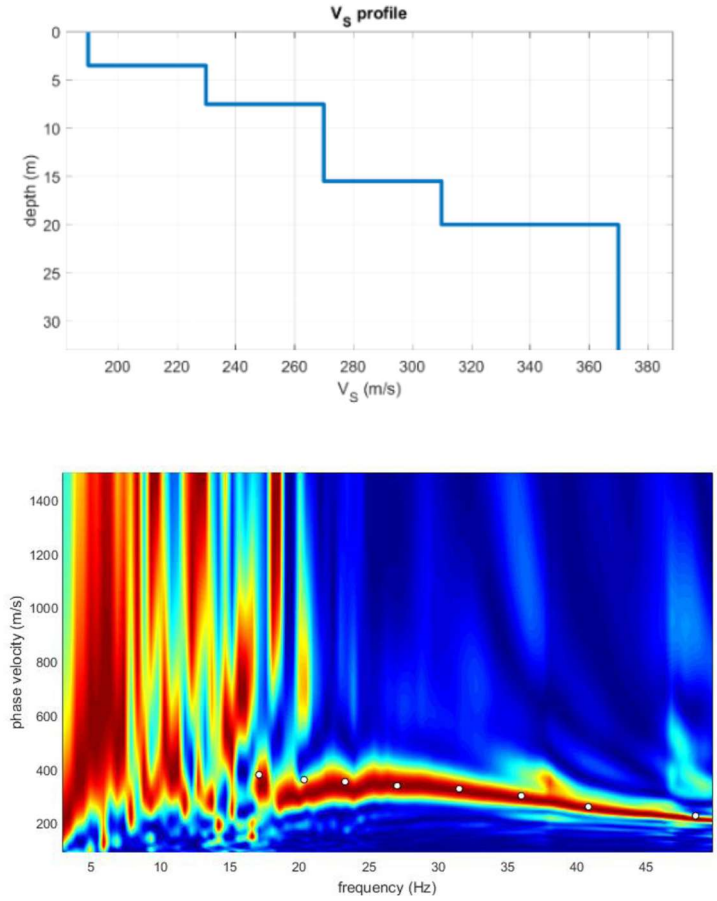


Figura 7.8 - Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio.

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	3,5	3.5	190	375	1,70	60	0,35	2,080
2	7,5	4,0	230	480	1,85	100	0,34	2,080

3	15,5	8,0	270	620	1,90	140	0,34	2,080
4	20,0	4,5	310	650	2,00	190	0,33	2,080
5	ind	ind	370	770	2,00	270	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 280								

Tabella 7.6 -Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle Vs.

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ **Cat. C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

FASE 2
MASW8

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

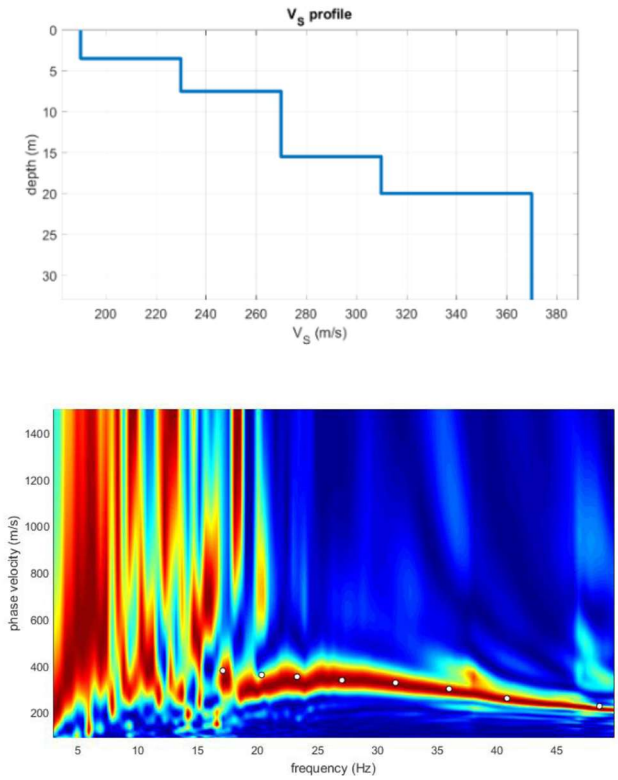


Figura 7.9 - Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio.

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	6,5	6.5	150	312	1,70	40	0,35	2,080
2	16,5	10,0	230	480	1,80	100	0,34	2,080
3	21,0	4,5	310	650	1,90	180	0,34	2,080
4	28,0	7,0	420	870	2,00	360	0,33	2,080
5	ind	ind	490	1000	2,00	500	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 246								

Tabella 7.7 Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle Vs.

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ **Cat. C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW9

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

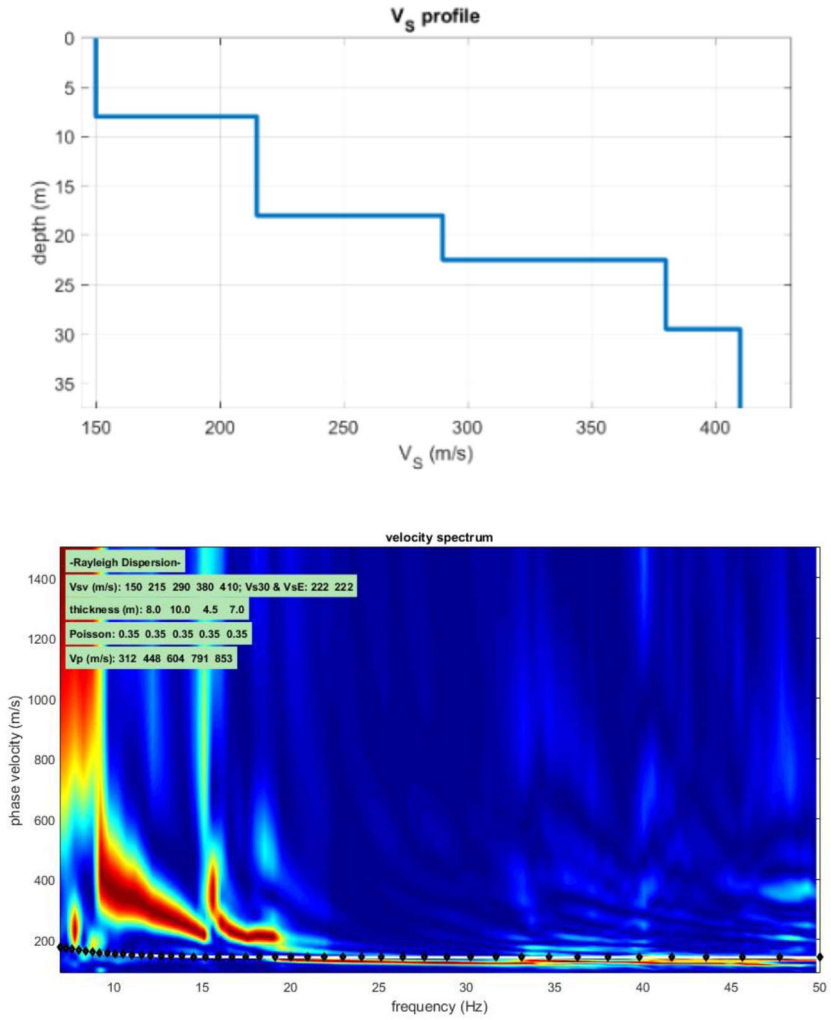


Figura 7.10 - Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio.

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	8,0	8.0	150	310	1,70	60	0,35	2,080
2	18,0	10,0	215	450	1,80	100	0,34	2,080
3	22,5	4,5	290	600	1,90	140	0,34	2,080
4	29,5	7,0	380	800	2,00	190	0,33	2,080
5	ind	ind	410	850	2,00	270	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 222								

Tabella 7.8 - Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle Vs.

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ **Cat. C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

MASW10

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

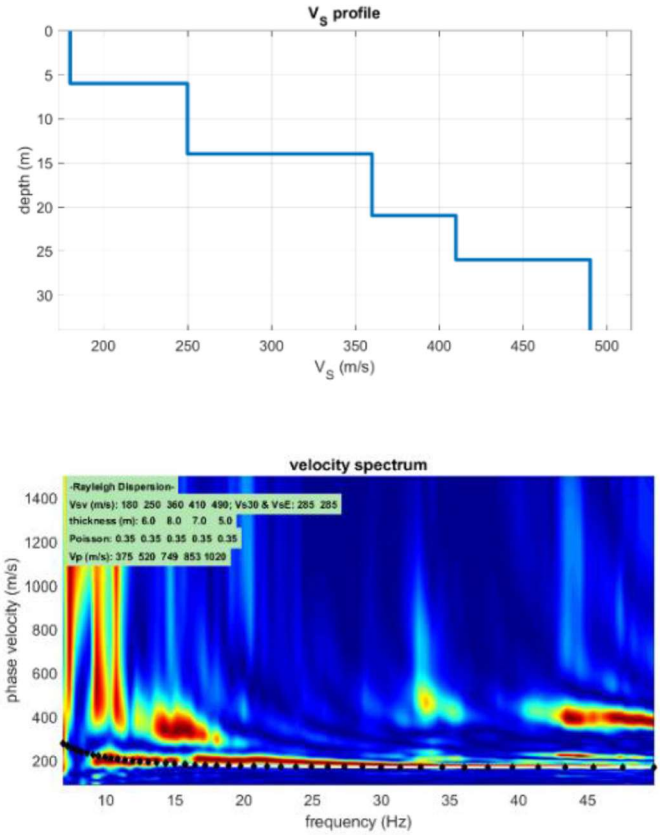


Figura 7.11 - Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio.

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	6,0	6.0	180	375	1,70	60	0,35	2,080
2	14,0	8,0	250	520	1,80	120	0,34	2,080
3	21,0	7,0	360	750	1,90	250	0,34	2,080
4	26,0	5,0	410	850	2,00	340	0,33	2,080
5	ind	ind	490	1000	2,00	500	0,33	2,080
Valore Vseq [m/s] = 285								

Tabella 7.9 - Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle Vs.

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ **Cat. C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

FASE 3
MASW11

Dall'analisi del segnale nei differenti domini è stato possibile individuare i vari modi caratteristici del terreno e procedere, così, con la modellazione dei dati acquisiti al fine di ottenere una caratterizzazione del terreno in termini di Vs, come riportato nella seguente figura:

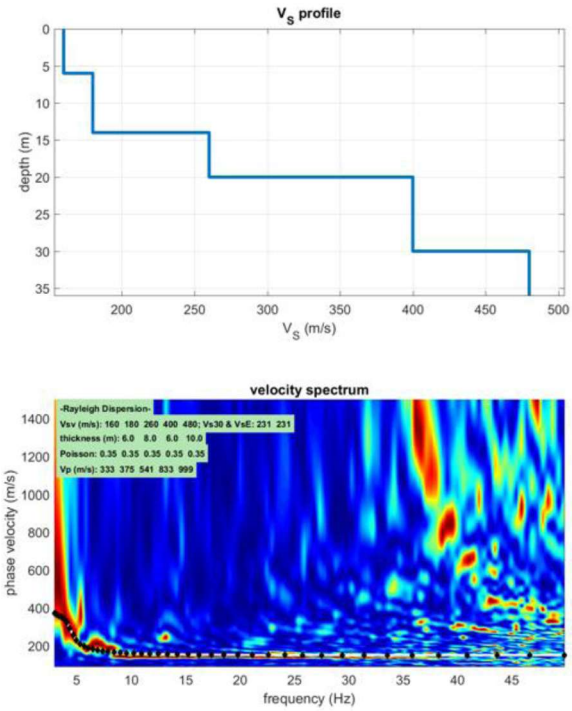


Figura 7.12 - Modellazione dei dati acquisiti e ricostruzione del profilo di velocità delle onde di taglio.

Osservando la figura in alto, è possibile notare la presenza di nr. 5 sismo-strati entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna. Di seguito si riporta una tabella di sintesi dei risultati ottenuti:

Nr. Sismo-strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	VP* [m/s]	γ* [g/cm3]	Modulo di taglio [Mpa]	Moduolo di Poisson	VP/VS (k)
1	6,0	6.0	160	333	1,79	46	0,35	2,080
2	14,0	8,0	180	375	1,82	59	0,35	2,080
3	20,0	6,0	260	541	1,91	129	0,35	2,080

4	30,0	10,0	400	833	2,01	322	0,35	2,080
5	ind	ind	480	999	2,05	473	0,35	2,080
Valore Vseq [m/s] = 231								

Tabella 7.10 - Sintesi dei dati ottenuti e calcolo delle Vs.

La classificazione del suolo è eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio è:

- ✓ **Cat. C** - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

7.3.2 Indagine Sismica a Rifrazione con Elaborazione Tomografica

Nella prospezione sismica a rifrazione si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde per determinare spessori e andamento dei livelli presenti. Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti nelle 3 differenti fasi.

FASE 1

TS4

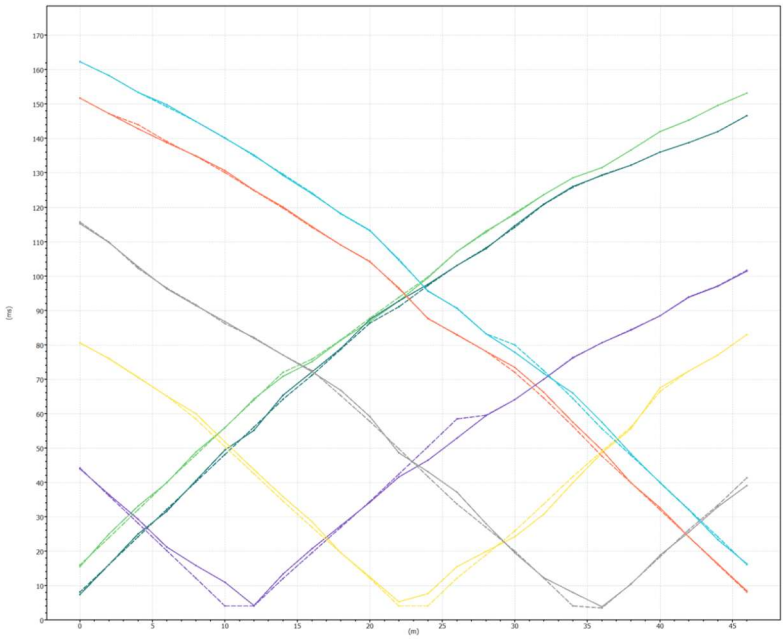
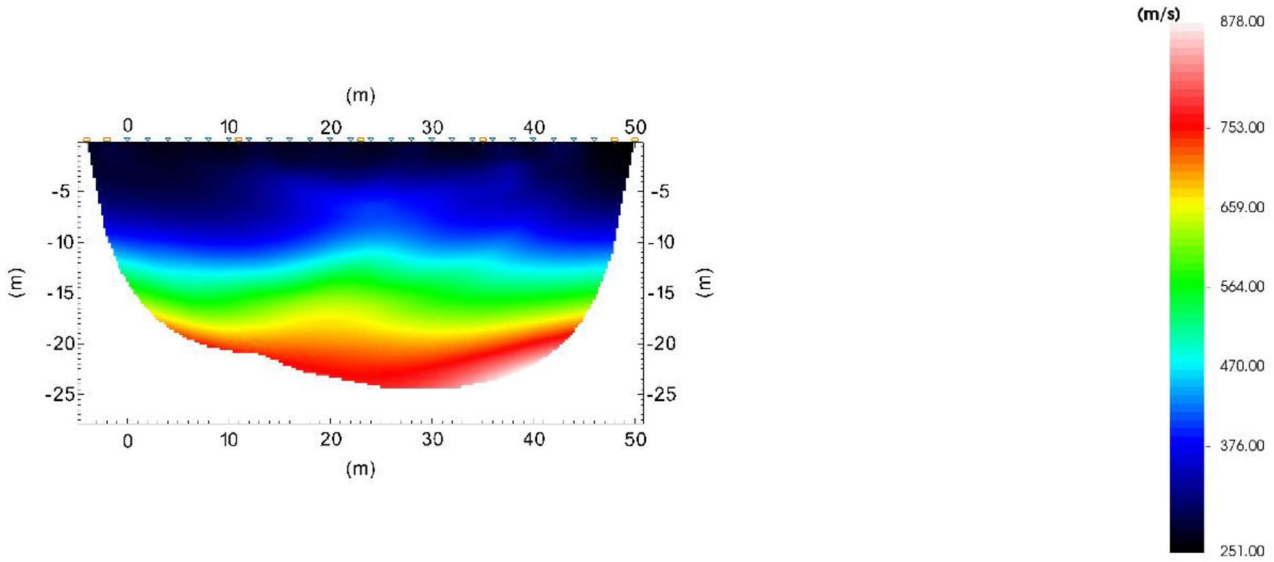


Figura 7.13 - Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione.

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

Tomographic Profile - Velocity



Tomographic Profile - Velocity with Rays

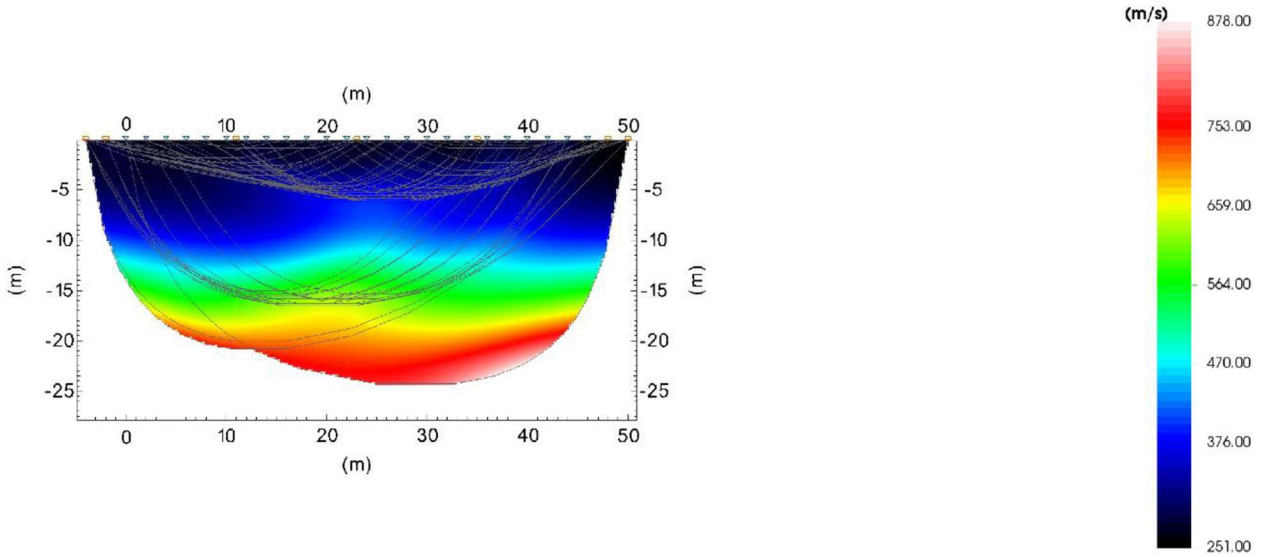


Figura 7.14 - Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

TS5

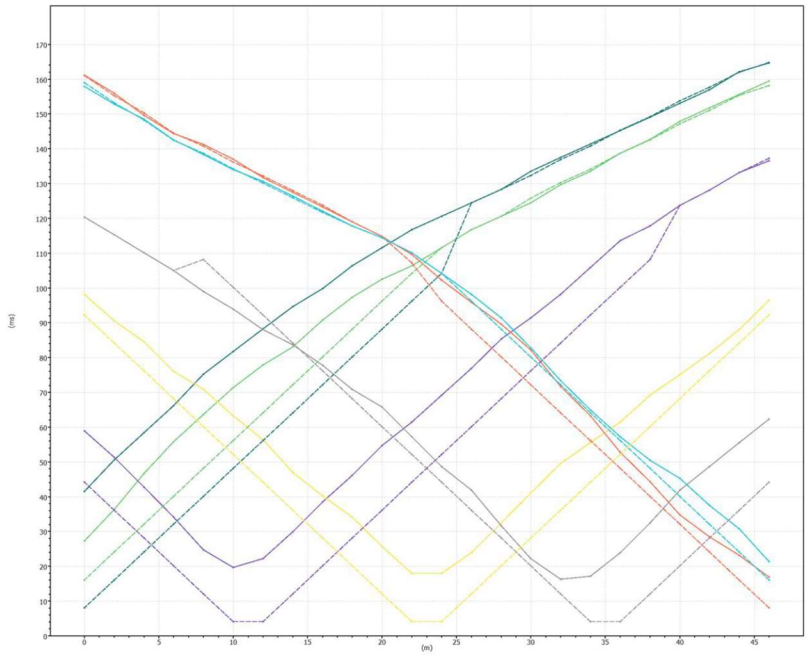
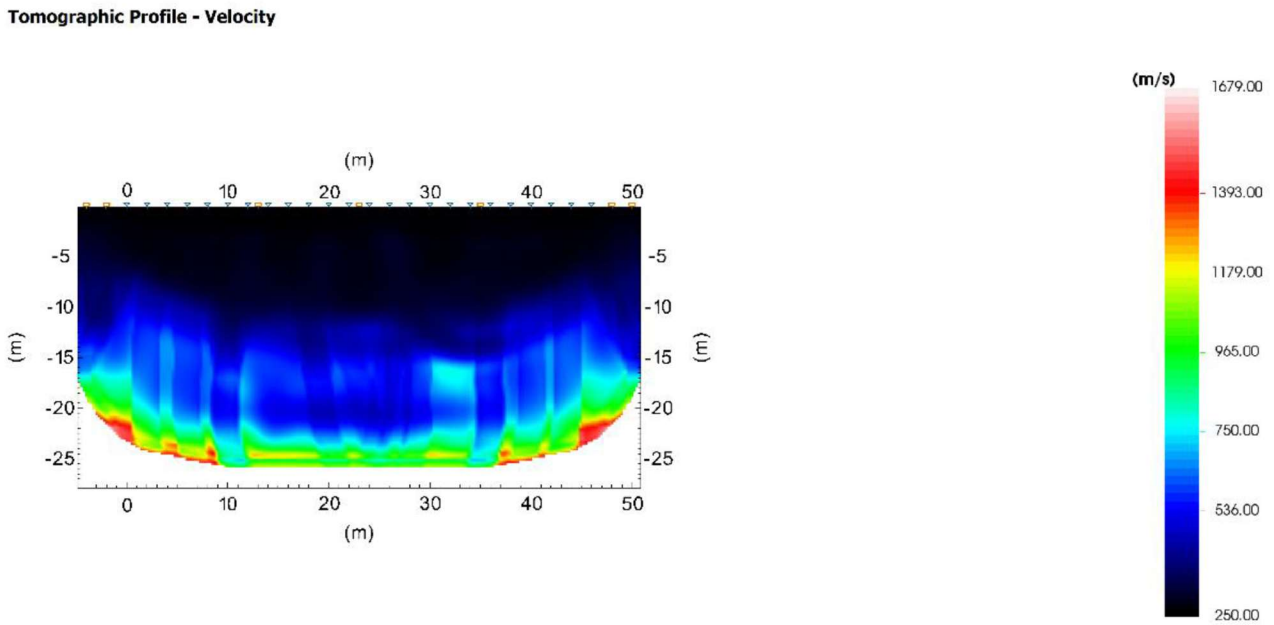


Figura 7.15 - Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione.

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:



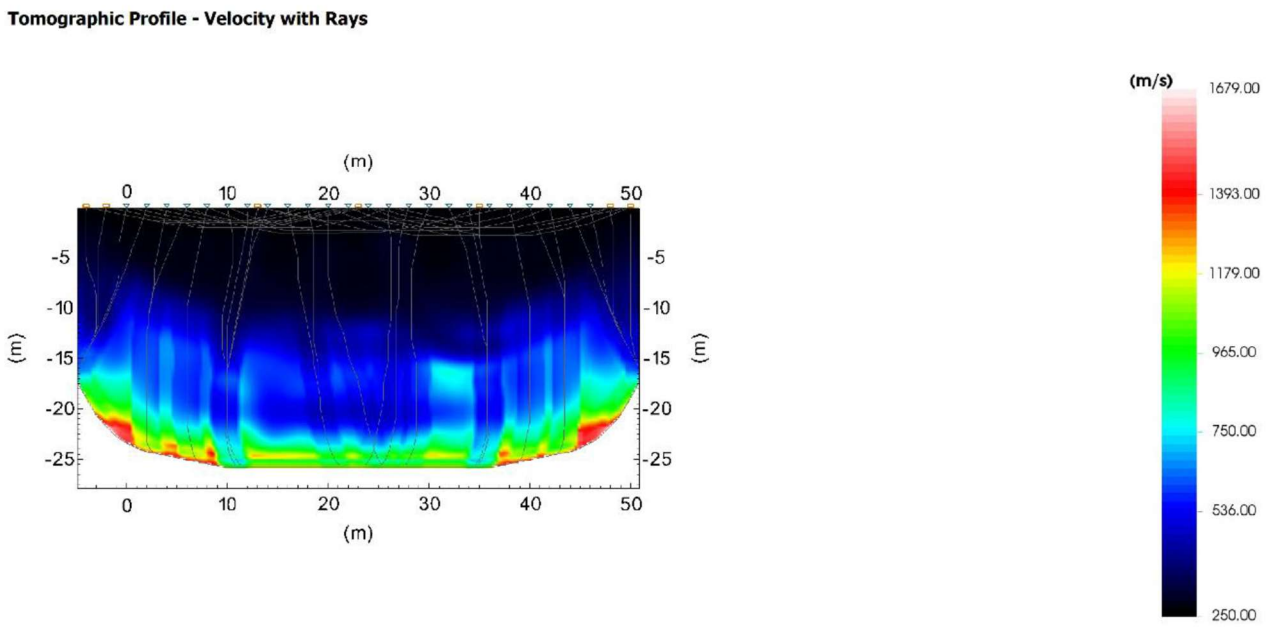


Figura 7.16 - Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

TS6

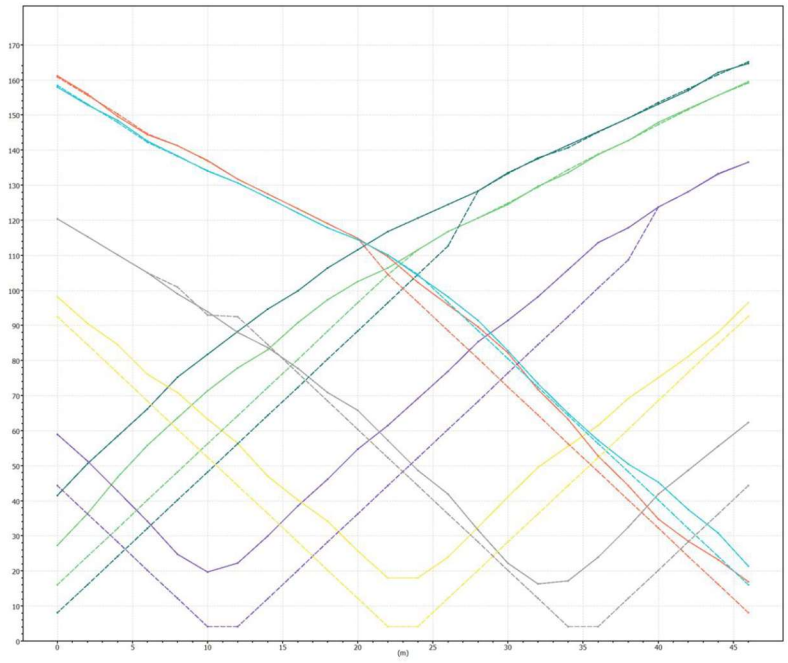


Figura 7.17 - Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione.

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

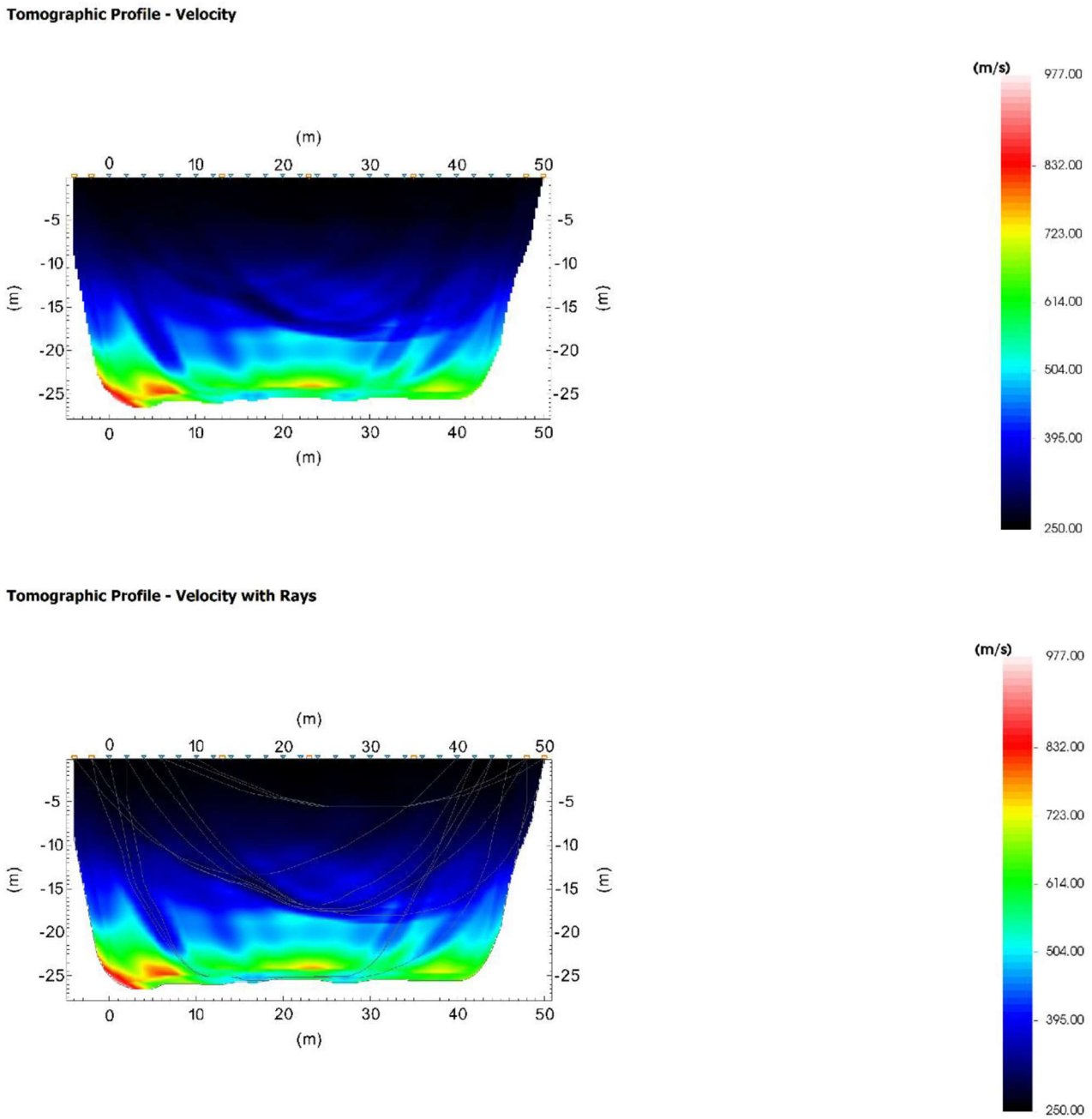


Figura 7.18 - Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

TS7

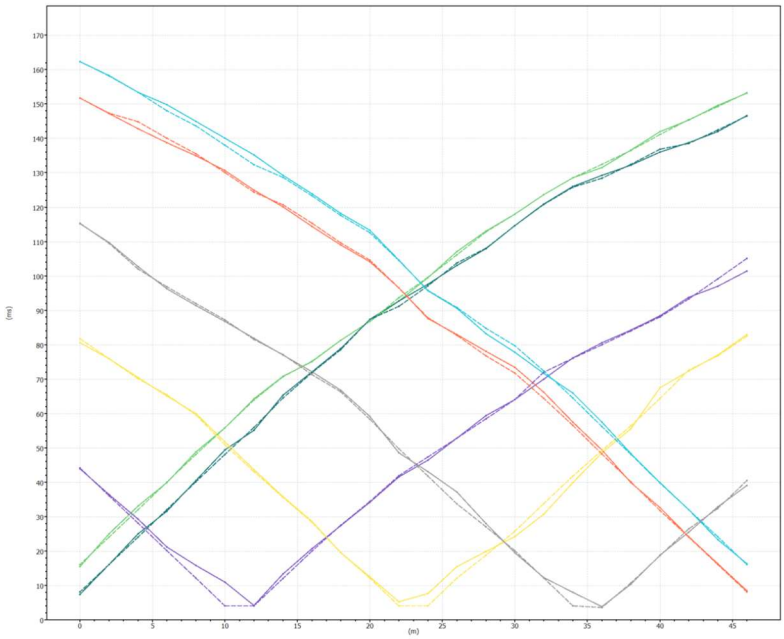
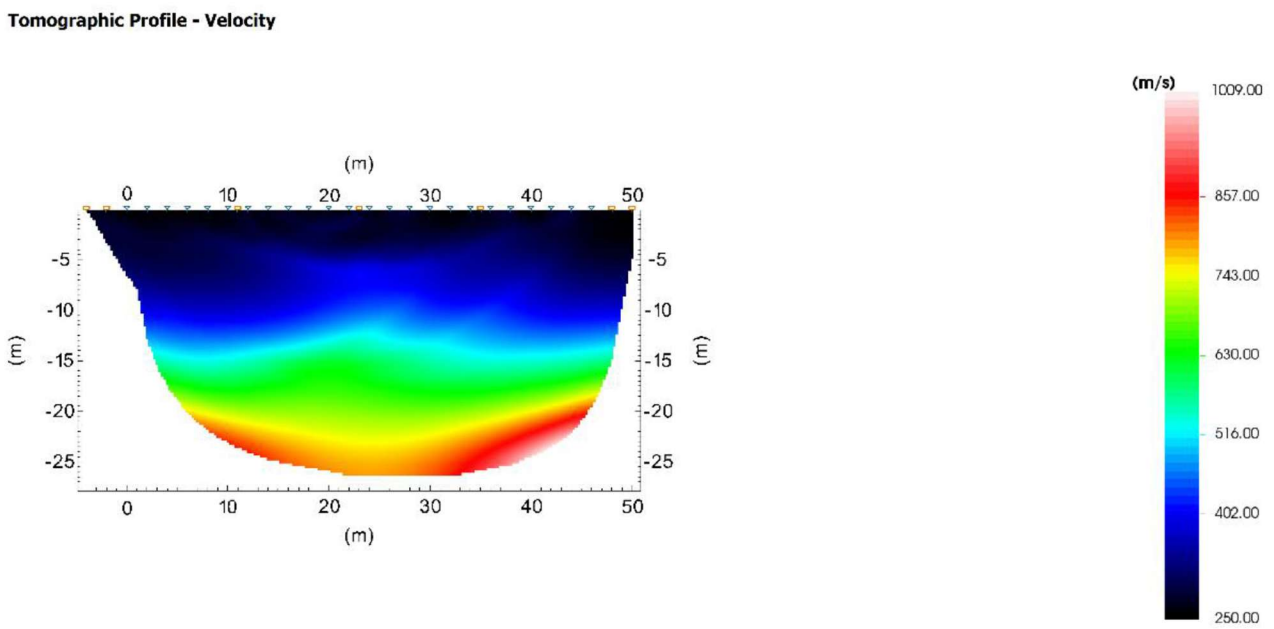


Figura 7.19 - Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione.

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:



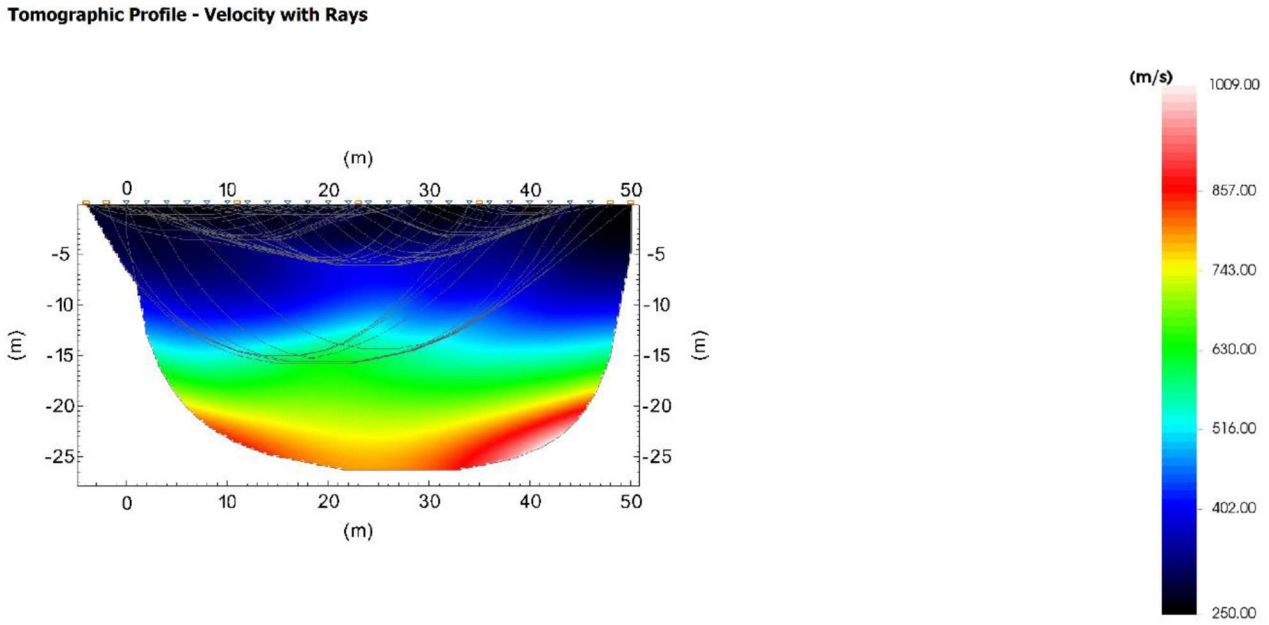


Figura 7.20 - Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

FASE 2

TS8

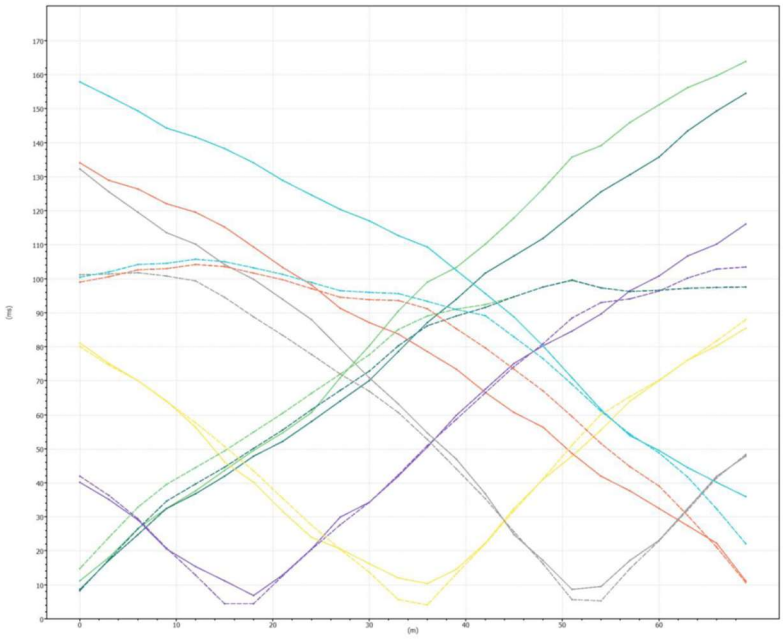
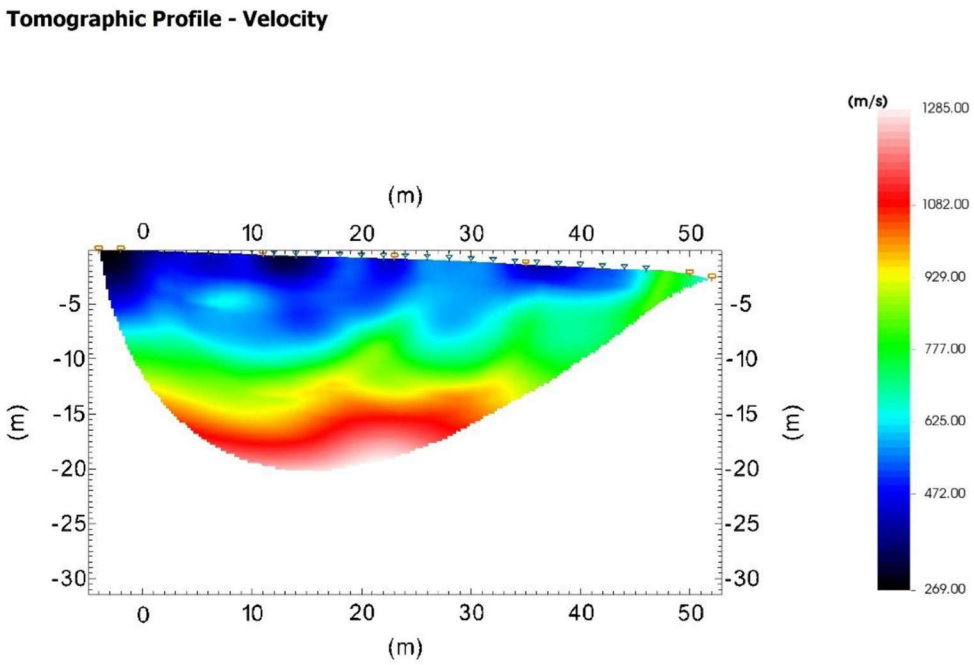


Figura 7.21 - Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione.

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:



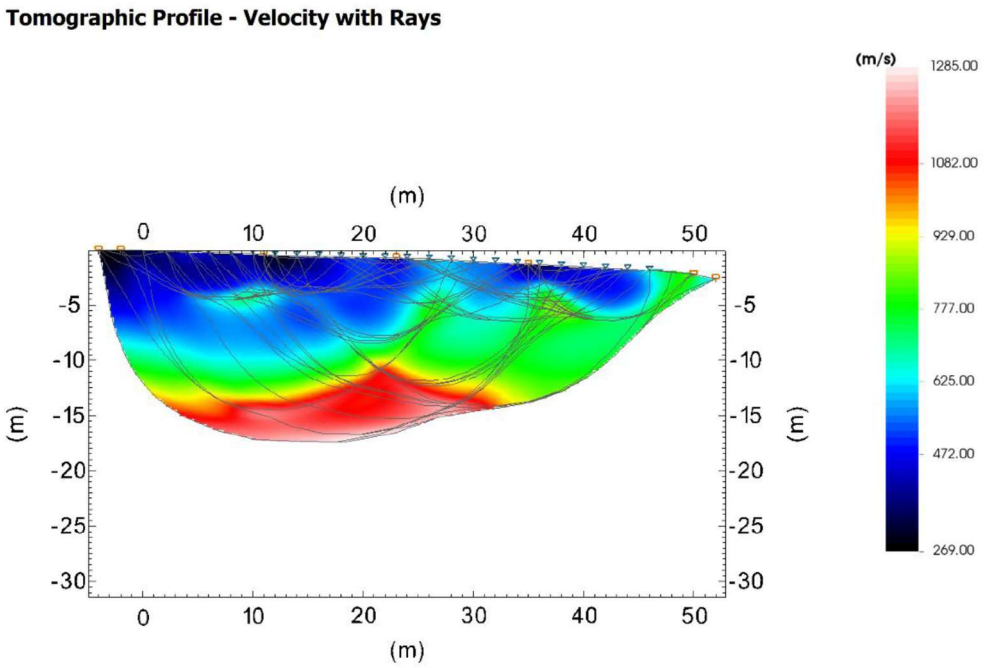


Figura 7.22 - Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

TS9

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

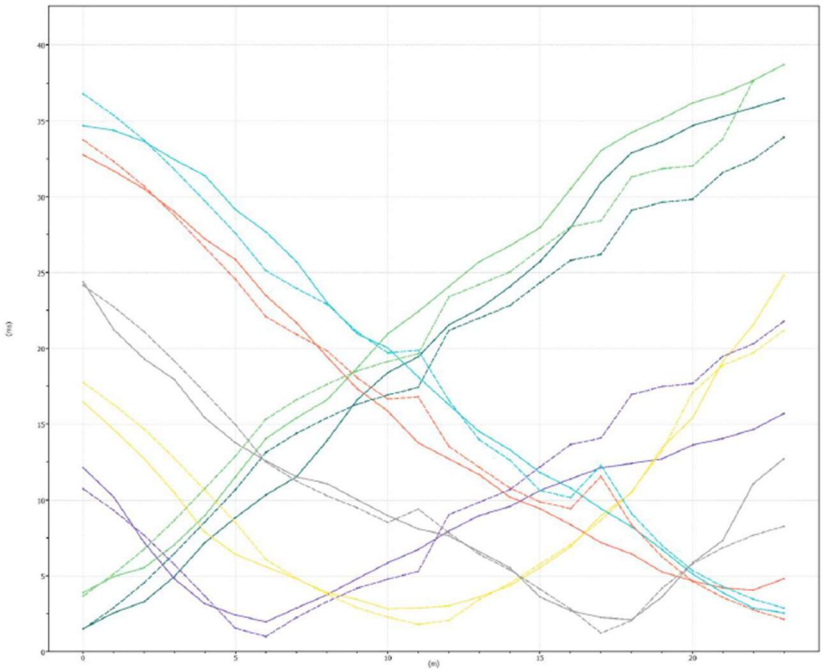
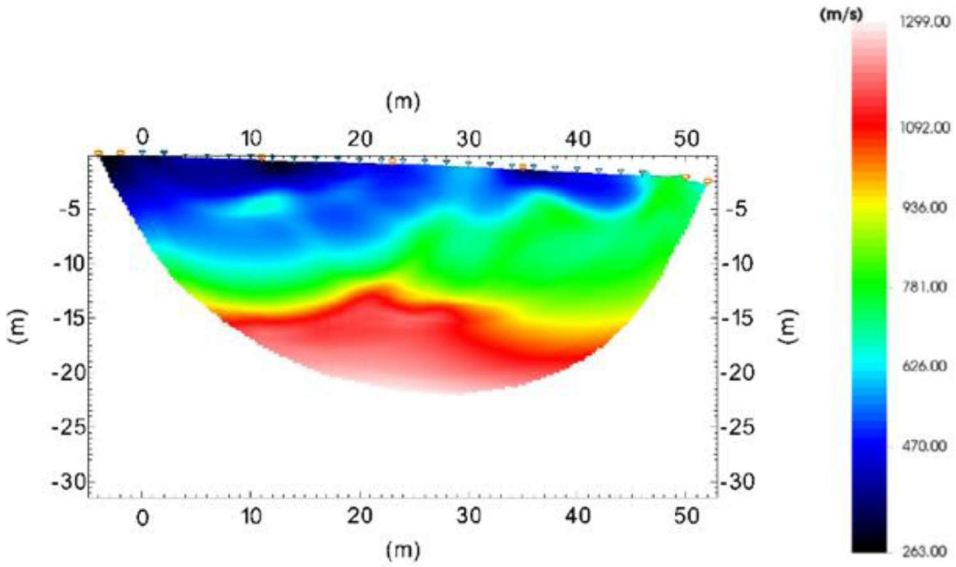


Figura 7.23 - Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:



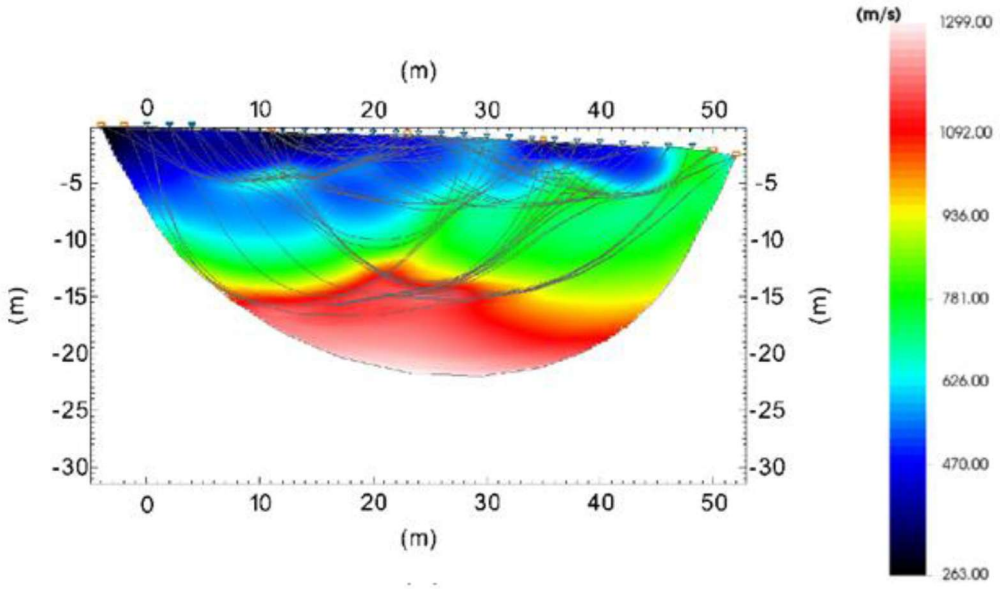


Figura 7.24 - Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

TS10

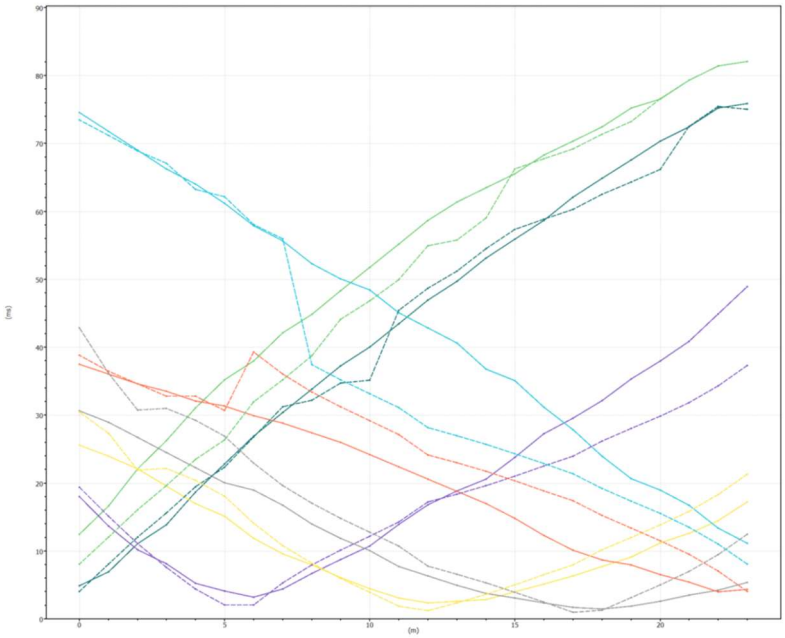


Figura 7.25 - Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:

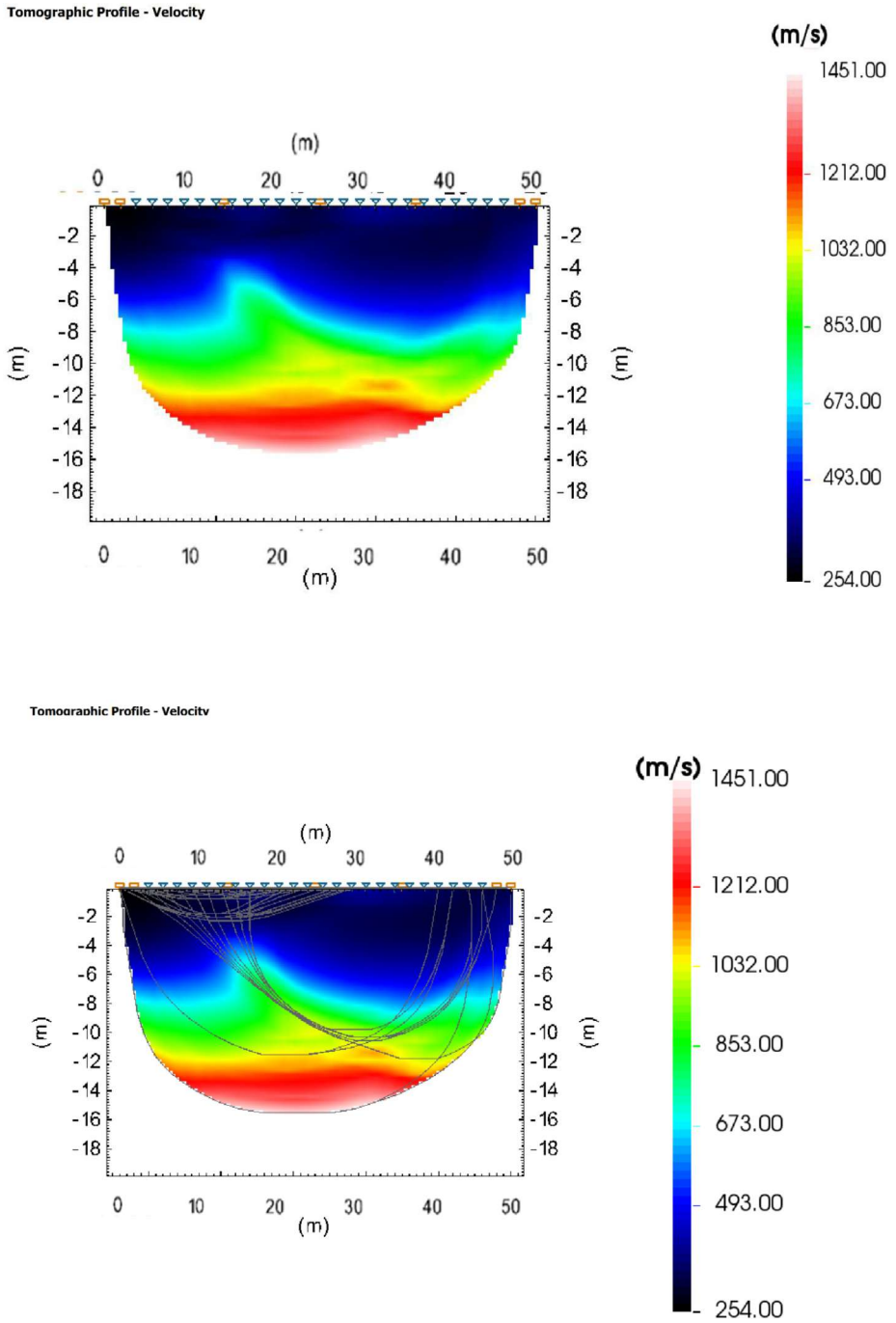


Figura 7.26 - Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

FASE 3

TS11

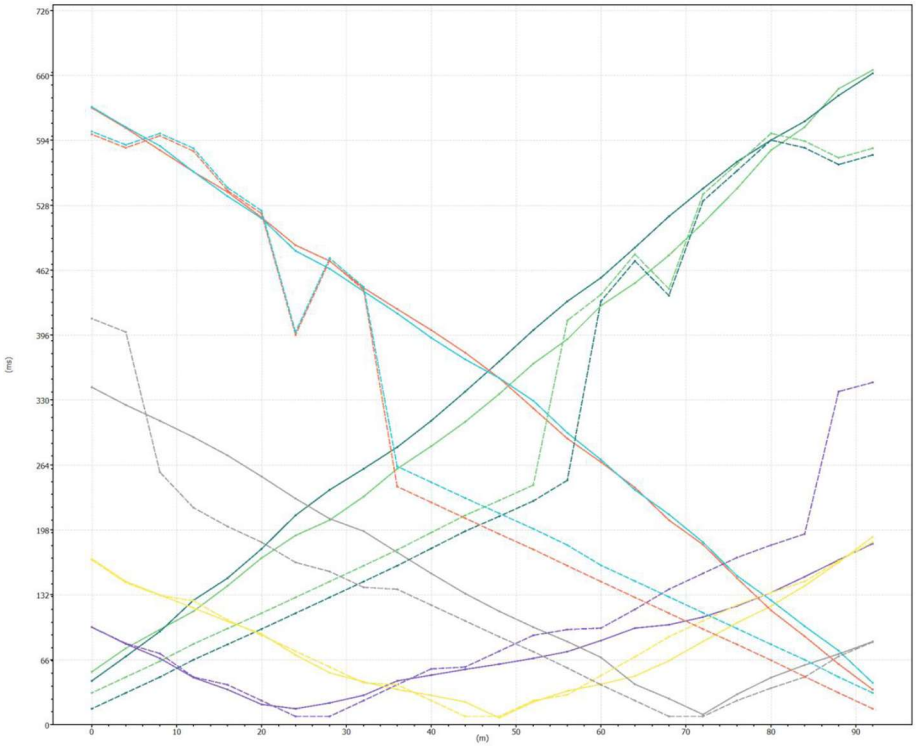
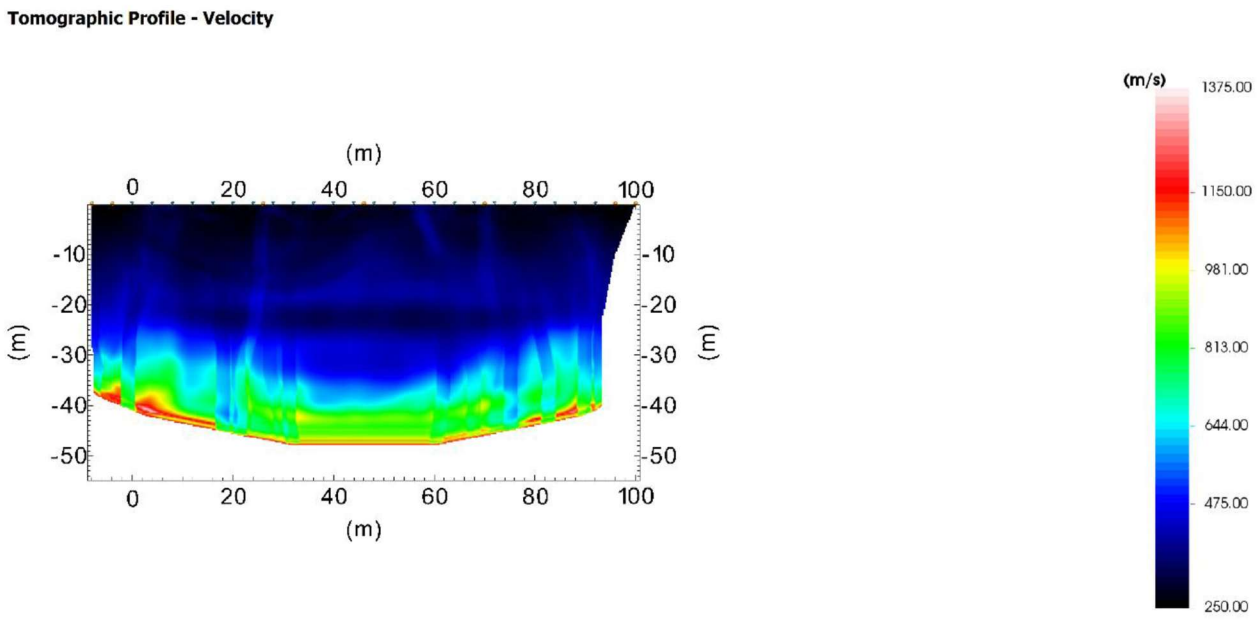


Figura 7.27 - Rappresentazione delle curve tempo-distanza ottenute dall'indagine sismica a rifrazione

L'analisi delle dromocrone ha consentito di determinare le velocità e le profondità dei rifrattori consentendo, così, di ottenere la sezione sismo-stratigrafica, riportata nella seguente figura:



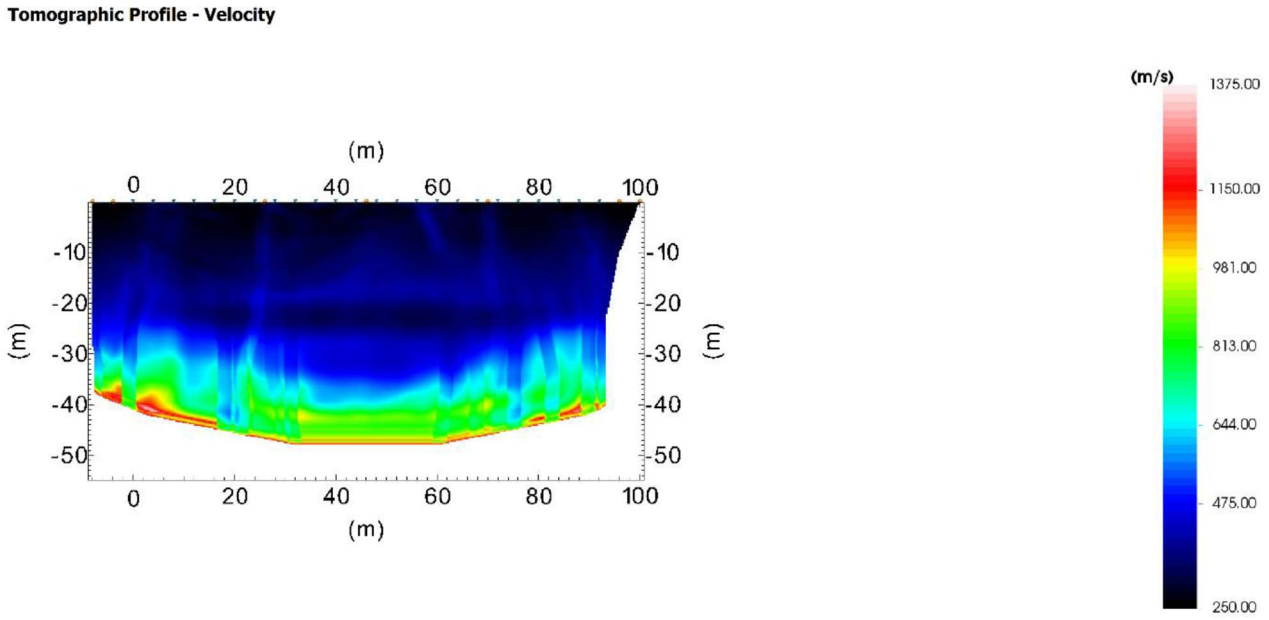


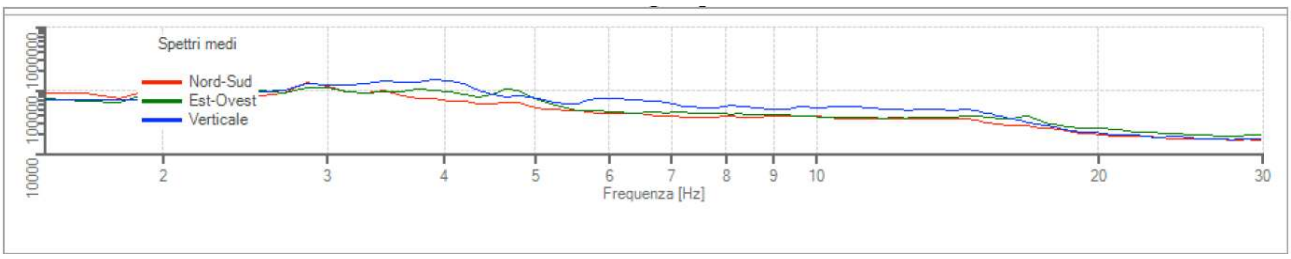
Figura 7.28 - Profondità dei rifrattori e ricostruzione della sezione sismo-stratigrafica con metodo tomografico del sito in onde P.

7.3.3 Sismica passiva HVSR

La tecnica HVSR consiste nella misura passiva di rumore sismico ambientale originato sia da sorgenti naturali (perturbazioni meteorologiche a larga scala, vento, onde oceaniche,...) che da sorgenti antropiche (traffico, attività industriali,…).Si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito (frequenza di risonanza). Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti nelle 3 differenti fasi.

FASE 1

HVSR2



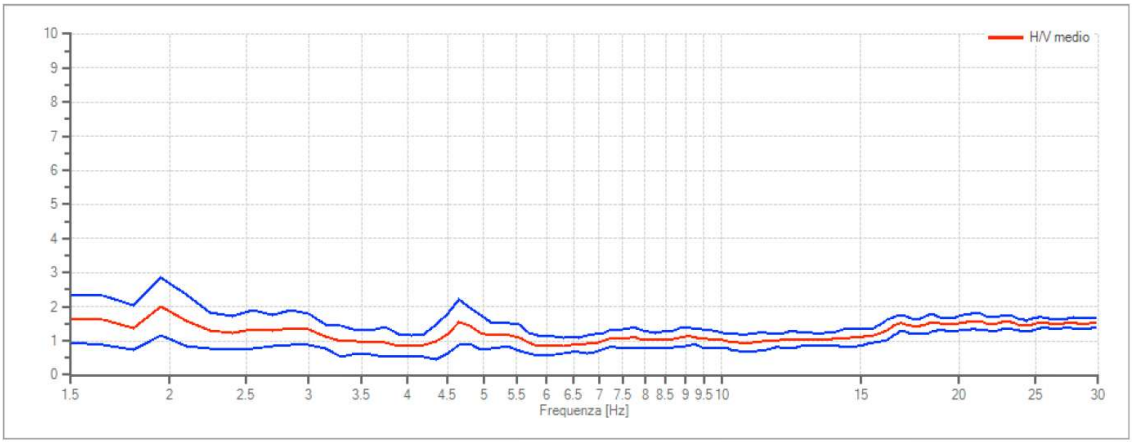


Figura 7.29 - Grafici degli spettri in particolare spettri medi nelle tre direzioni (grafico in alto) e rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia (figura in basso).

Frequenza del picco del rapporto H/V: **1.95 Hz ± 0.43 Hz**

HVSR3

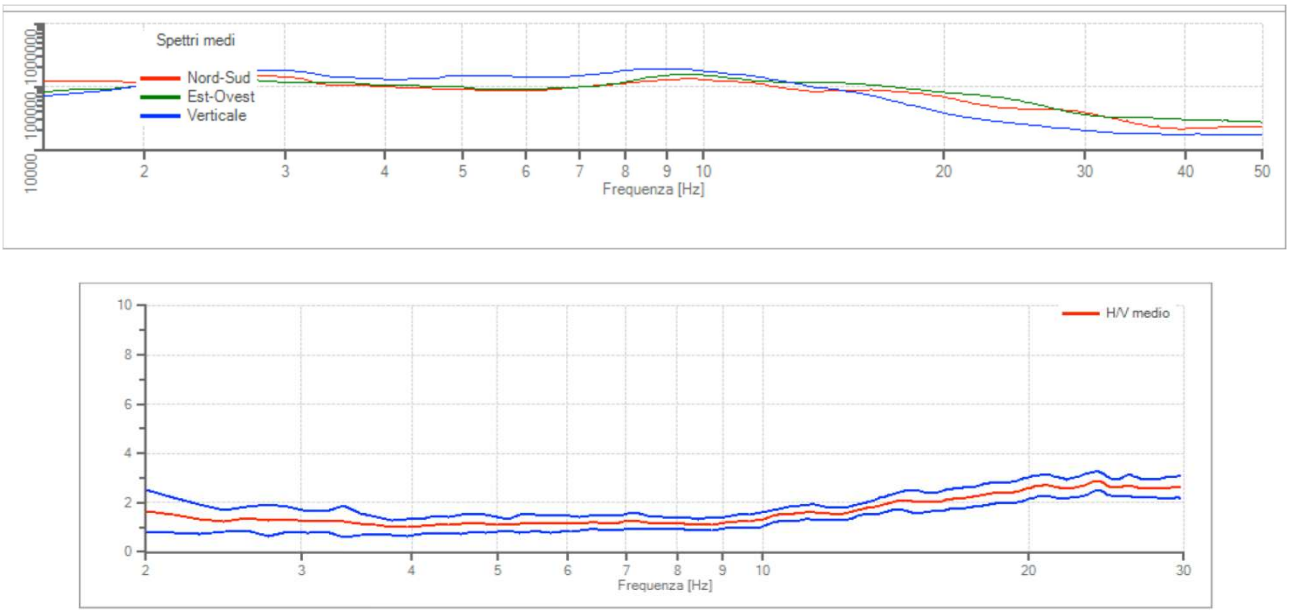


Figura 7.30 - Grafici degli spettri in particolare spettri medi nelle tre direzioni (grafico in alto) e rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia (figura in basso).

Frequenza del picco del rapporto H/V: **23.90 Hz ± 0.15 Hz**

FASE 2

HVSR4

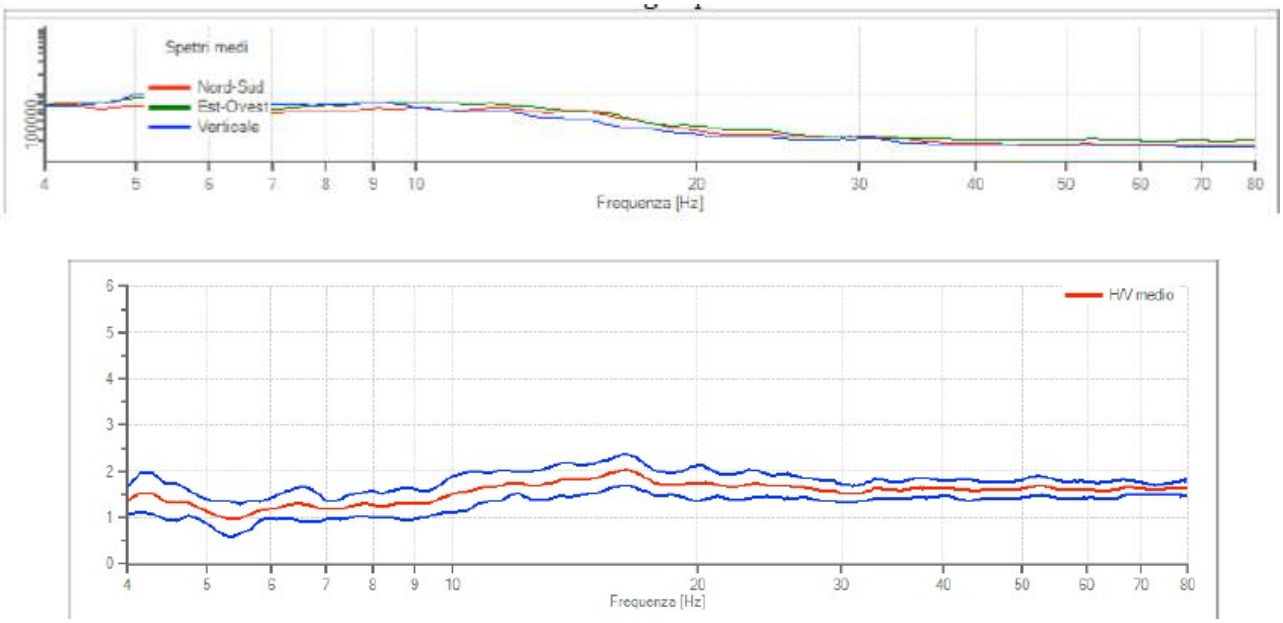


Figura 7.31 - Grafici degli spettri in particolare spettri medi nelle tre direzioni (grafico in alto) e rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia (figura in basso).

Frequenza del picco del rapporto H/V: **16.45 Hz ± 0.17 Hz**

HVSR 5

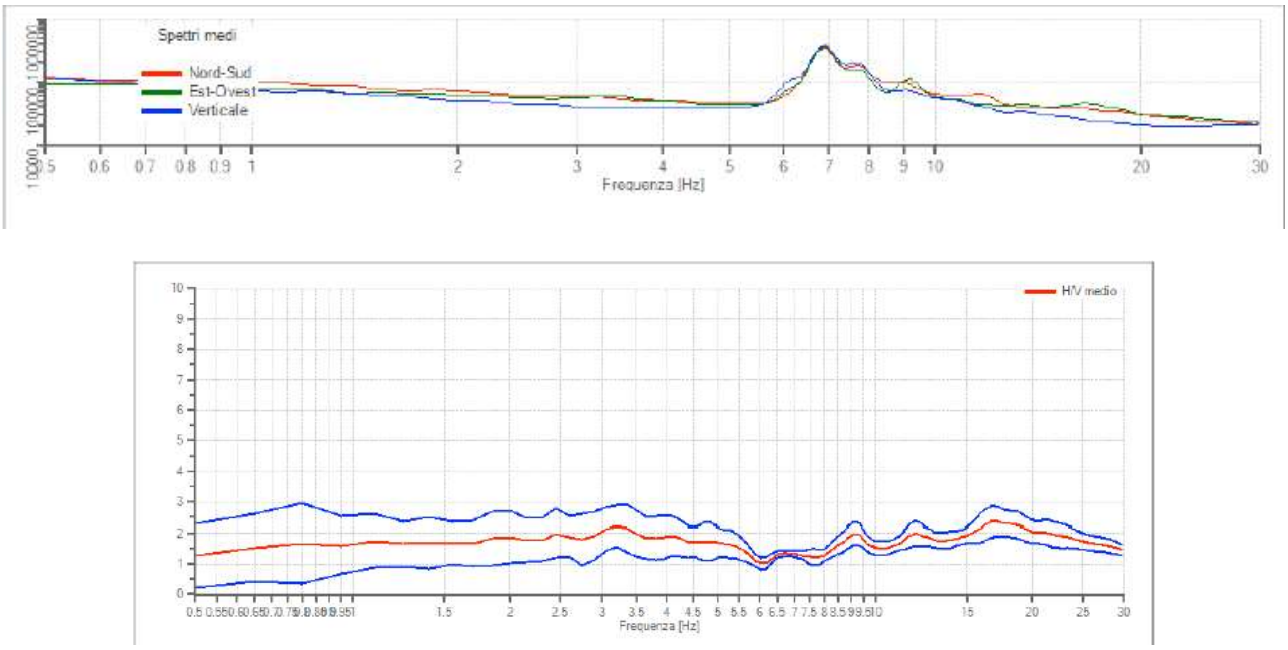


Figura 7.32 - Grafici degli spettri in particolare spettri medi nelle tre direzioni (grafico in alto) e rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia (figura in basso).

Frequenza del picco del rapporto H/V: **17.03 Hz ± 0.20 Hz**

HVSR6

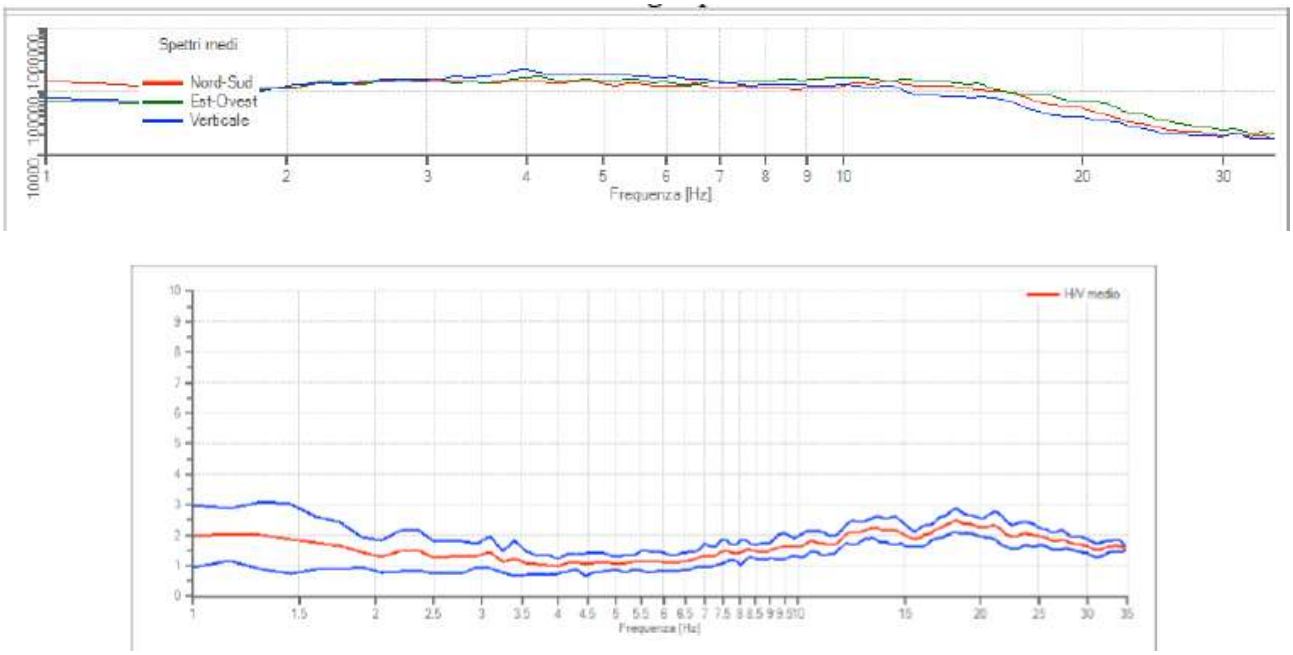


Figura 7.33 - Grafici degli spettri in particolare spettri medi nelle tre direzioni (grafico in alto) e rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia (figura in basso).

Frequenza del picco del rapporto H/V: **18.30 Hz ± 0.15 Hz**

8 INQUADRAMENTO MACROSISMICO

Fino al 2002 la zonazione sismogenetica ZS4 ha rappresentato il punto di riferimento per la maggior parte delle valutazioni di pericolosità sismica nell'area italiana. Gli sviluppi più recenti delle conoscenze in materia di sismogenesi hanno evidenziato talune inconsistenze del modello di zonazione. Per superare questo stato di cose e rendere disponibile, nel breve tempo, una zonazione utilizzabile, si è convenuto di disegnare una nuova zonazione, denominata ZS9 (Figura 7). La zonazione sismogenetica ZS9 è il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e dell'introduzione di nuove zone il cui elemento di novità, oltre naturalmente al catalogo sismico, è rappresentato dall'introduzione delle conoscenze più recenti sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche.

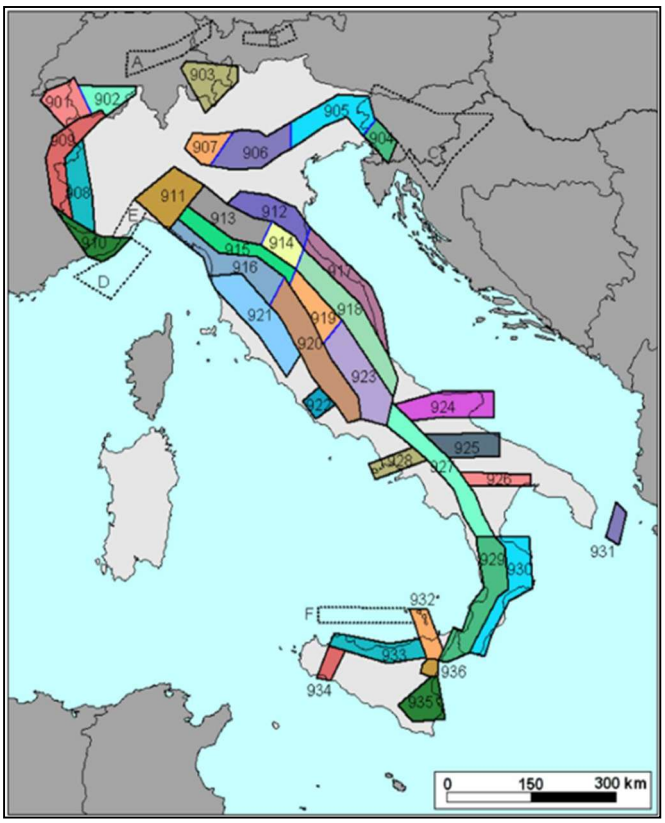


Figura 8.1 – Zonazione sismogenetica ZS9

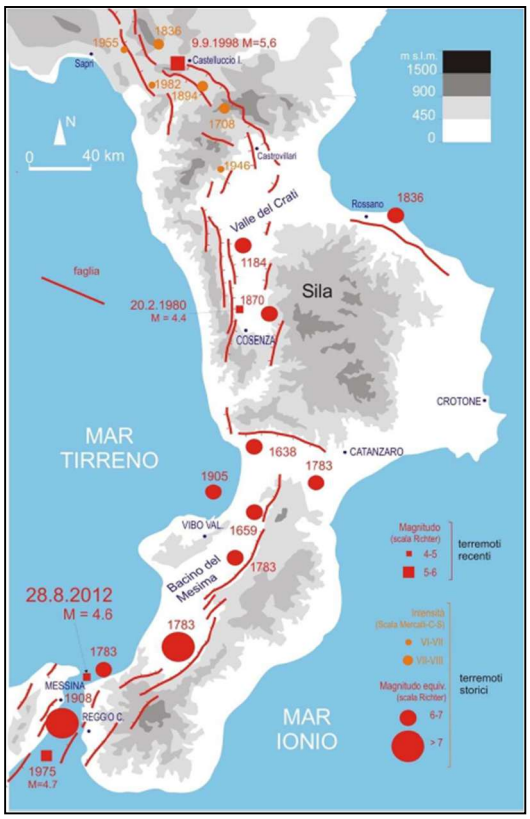


Figura 8.2 – Principali faglie e terremoti che hanno colpito la regione in epoca storica

Le zone sorgenti della Calabria in riferimento alla zonazione ZS9 sono due e dividono la Regione in una fascia tirrenica (zona 929) ed in una ionica (zona 930). La zona 929 è rappresentata dai terremoti di più elevata magnitudo cha hanno interessato i bacini del Crati, del Savuto e del Mesima fino allo Stretto di Messina. Viceversa, sul lato ionico della Calabria solo 4 eventi hanno superato un valore di magnitudo pari a 6.

Negli ultimi decenni non si sono verificati in Calabria sismi di forte intensità, ma nel passato, la Calabria è stata teatro di alcuni tra i sismi più catastrofici verificatisi in Italia che hanno provocato decine di migliaia di vittime e la distruzione di interi centri abitati. La pericolosità dei sistemi presenti nell'area che sono stati in passato sede di forti terremoti e che risultano essere tuttora sorgenti di terremoti è nota in letteratura (Figura 8.2).

L'area in esame dal punto di vista geologico si trova nel tratto centrale dell'Arco Calabro che è caratterizzato da un alto rilascio di energia simica (Figura 8.3). L'analisi sulla sismicità dell'area viene

realizzata sulla base degli eventi storici verificatisi nell'area.

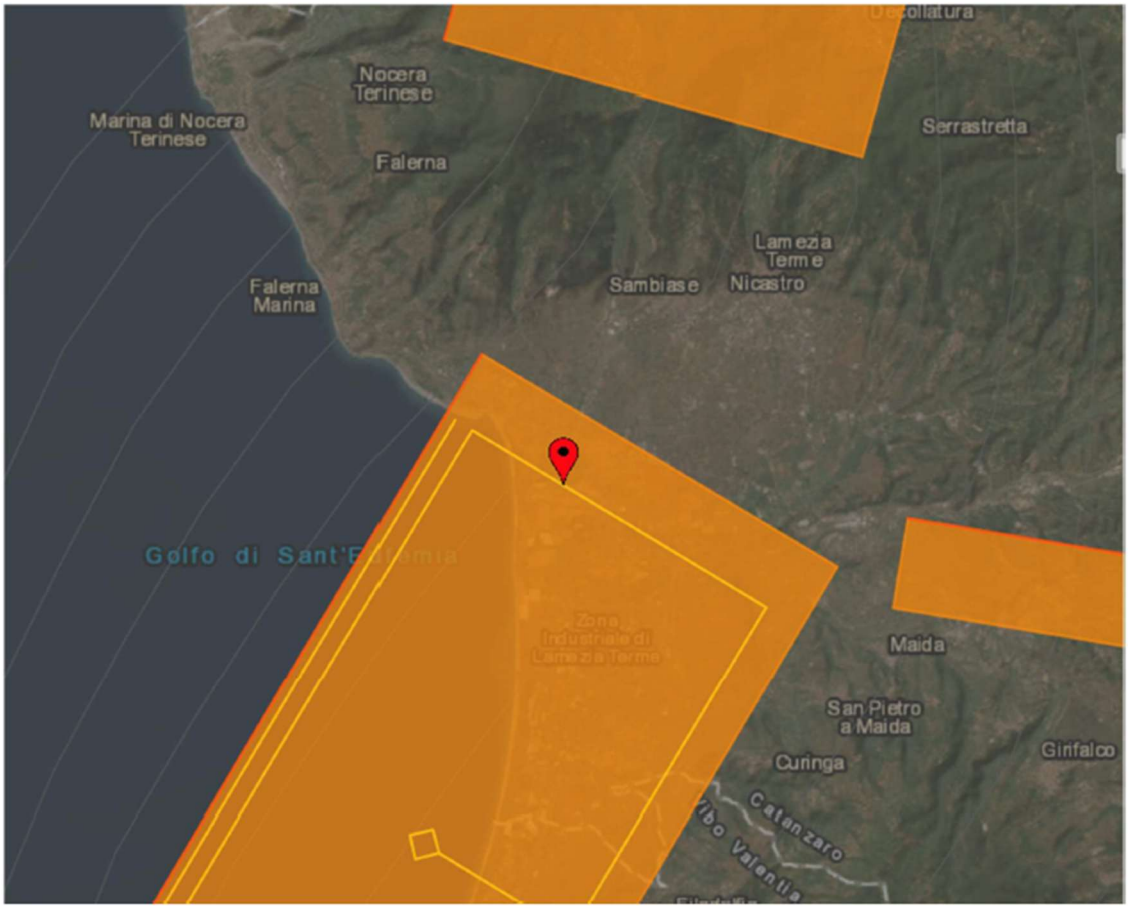


Figura 8.3 – Principali faglie attive del database delle sorgenti sismogenetiche italiane accessibile alla pagina www.diss.ingv.it

Sfogliando il catalogo parametrico dei terremoti italiani dell'INGV, consultabile sul sito internet https://emidius.mi.ingv.it, è possibile ricostruire la storia sismica dell'area investigata. Attraverso la consultazione del catalogo è possibile rendersi conto dei principali (e più significativi) terremoti che hanno avuto come epicentro aree vicine.

Il 1638 in Calabria è ricordato come un anno di grandi terremoti. Fu in quell'anno, infatti, che si verificò la prima importante sequenza sismica conosciuta tra quelle che nel corso della storia hanno ripetutamente colpito la regione. Forti terremoti sono noti anche nei secoli e decenni precedenti (ad esempio il terremoto del 1184 nella Valle del Crati, o quello che nel 1626 distrusse Girifalco), ma la serie di violente scosse che colpirono la Calabria centro-settentrionale tra il marzo e il giugno del 1638 è, per ampiezza dell'area devastata ed entità delle distruzioni, paragonabile alle sequenze chenel 1783 e nel 1905-1908 colpirono gran parte della regione.

Quelli del 1638 sono anche i terremoti più distruttivi che, negli ultimi 1000 anni, hanno interessato il settore centro-settentrionale della Calabria. Inoltre, sono eventi ben documentati, descritti da numerose relazioni e memorie pubblicate a breve distanza dal disastro. Testimonianze, osservazioni dirette e resoconti di prima mano costituiscono un cospicuo e attendibile patrimonio di informazioni che ha permesso ai sismologi storici di determinare con precisione l'area dei danni più gravi e l'estensione della zona colpita, nonché di delineare l'impatto sociale ed economico dell'evento. Le prime scosse distruttive avvennero nei giorni 27 e 28 marzo e colpirono un'ampia fascia del versante tirrenico tra la

Valle del Crati e il Vibonese; il secondo forte terremoto avvenne l'8 giugno e causò gravissimi danni prevalentemente sul versante ionico della Sila. In questo articolo verranno descritti i terremoti del marzo 1638, riservandoci di trattare quello di giugno in un articolo futuro.

La prima forte scossa avvenne nel pomeriggio del 27 marzo 1638, verso il tramonto (alle ore 21 e mezza in orario "all'italiana"), e fu un evento catastrofico, con effetti che raggiunsero il grado 11 della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg). Nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI11, che riprende lo studio di Guidoboni et al. (2007), questo terremoto è riportato come un'unica grande scossa con magnitudo equivalente (calcolata sulla base della distribuzione delle intensità macrosismiche) Mw pari a 7.0, tra le più elevate della storia sismica italiana. Secondo altri autori, tuttavia, le distruzioni furono causate da almeno 3 distinte e violentissime scosse avvenute tra il 27 e il 28 marzo (Galli & Bosi, 2003). Quella del pomeriggio del giorno 27, un sabato, fu la più forte e colpì il territorio compreso tra l'alta Valle del Crati e la valle del Savuto, a sud di Cosenza, al confine tra le attuali province di Cosenza e di Catanzaro, dove diversi paesi – tra cui Diano, Carpanzano, Martirano, Conflenti, Motta Santa Lucia, Rogliano, Grimaldi, Scigliano, Savuto, Mangone – furono completamente rasi al suolo (Guidoboni et al. 2007). Il giorno successivo, 28 marzo (che quell'anno coincideva con la domenica delle Palme), due nuove forti scosse colpirono il territorio posto immediatamente a sud di quello interessato dalla prima, forte scossa. Questi due nuovi eventi colpirono la parte nord-occidentale della Stretta di Catanzaro, nella zona tra Sambiase, Lamezia Terme e Sant'Eufemia, e la zona del Vibonese, sul versante occidentale delle Serre, estendendo così verso sud l'area degli effetti distruttivi rispetto al terremoto del 27 marzo.

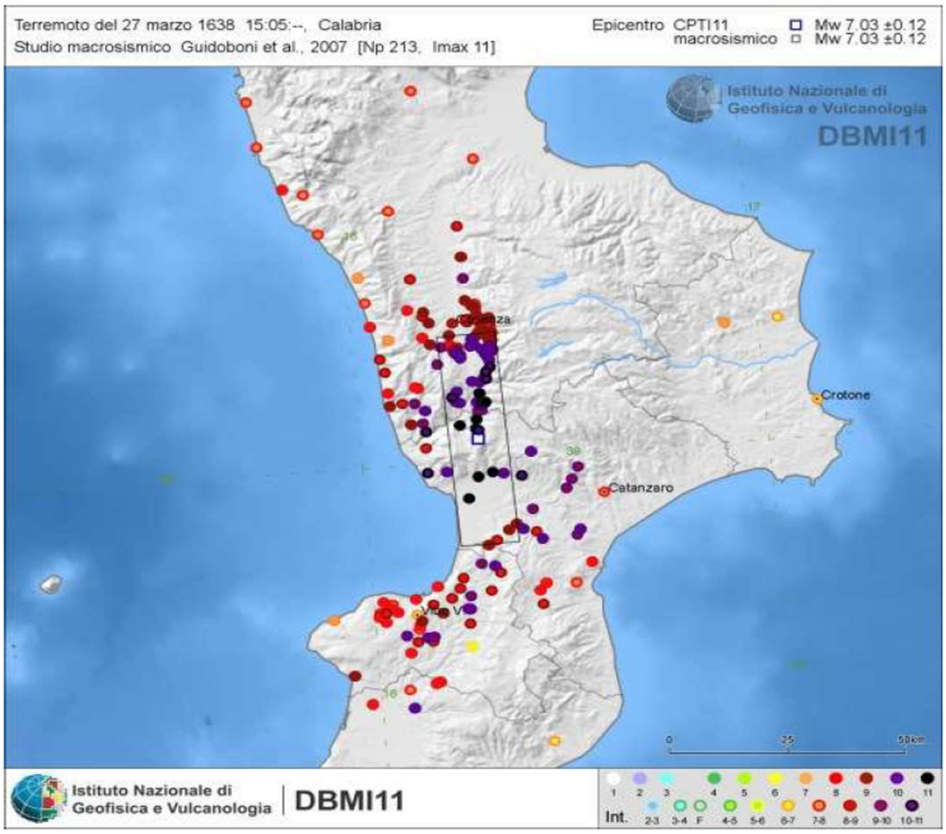


Figura 8.4 – Principali faglie attive del database delle sorgenti sismogenetiche italiane accessibile alla pagina www.diss.ingv.it

In quest'ottica, la magnitudo Mw 7.0 riportata nel catalogo CPTI11 sarebbe in realtà sovrastimata e deriverebbe dalla somma complessiva degli effetti di queste singole scosse, che, di fatto, avrebbero

avuto ciascuna una magnitudo più bassa. Galli & Bosi (2003), infatti, stimano una magnitudo equivalente Mw 6.8 per l'evento del pomeriggio del 27 marzo, e Mw 6.6 per entrambe le scosse del 28 marzo, da intendersi come valori massimi proprio per l'effetto di cumulo dei danni. In ogni caso, scosse molto violente; a titolo di paragone, si consideri che il terremoto dell'Irpinia del 1980 ebbe Mw 6.9 e quello del 6 maggio 1976 in Friuli Mw 6.5.

Che si sia trattato di una sola grande scossa di Mw 7.0 o, più verosimilmente, di tre forti scosse con Mw > 6.5, il quadro complessivo degli effetti causati dal terremoto di fine marzo non cambia, ed è uno scenario di immane distruzione. Tutta la regione fu interessata da effetti di danno: danni gravi si ebbero fino a Rosarno, verso sud, e fino a Scalea e a Castrovillari, verso nord. Danni più leggeri furono riscontrati verso sud fino alla zona dell'Aspromonte e a Messina, dove crollò parzialmente la copertura della cattedrale, verso est fino a Crotone, e verso nord fino a Maratea, dove furono rilevate leggere lesioni.

Come abbiamo detto, gli effetti più gravi e distruttivi interessarono un'ampia fascia della Calabria centrale tra la Valle del Crati e il Vibonese. Secondo lo studio di Guidoboni et al. (2007), complessivamente i centri che subirono importanti distruzioni e crolli estesi (con effetti uguali o superiori al grado 9 MCS) furono 107, diciassette dei quali furono completamente rasi al suolo (con effetti superiori al grado 10 MCS). Un'altra novantina di località subì danni gravi e crolli parziali, tali da rendere inabitabili numerose abitazioni (effetti superiori al grado 7 MCS). Fra queste anche Cosenza, dove una ventina di edifici crollò completamente e quasi 600 rimasero gravemente lesionati e riportarono crolli parziali. Tredici fra chiese e monasteri furono distrutti o seriamente danneggiati. Notevoli distruzioni interessarono anche il Castello e il Duomo, di cui crollò il campanile. A Catanzaro i danni furono meno gravi, ma comunque rilevanti: moltissimi edifici rimasero più o meno seriamente lesionati, oltre 300 furono quelli che risultarono inagibili. Il duomo e il palazzo vescovile riportarono gravi danni.Il terremoto verso nord fu avvertito fortemente, ma senza danni, in Basilicata e in modo più leggero a Taranto e fino a Napoli. L'area di risentimento tuttavia risulta scarsamente definita. Di sicuro la scossa fu avvertita più o meno fortemente in molte parti della Sicilia. L'evento principale del 27 marzo e i due violenti terremoti del 28 furono preceduti da una forte scossa avvenuta circa due mesi prima, il 18 gennaio, che causò alcuni danni. Le repliche furono particolarmente frequenti per tutto il mese di aprile e, secondo le testimonianze e le fonti del periodo, causarono molto spavento tra la popolazione ma non ulteriori danni. La violenza delle scosse del 27 e 28 marzo produsse notevoli effetti anche sull'ambiente naturale, con imponenti dissesti geomorfologici e idrologici che, in qualche caso, modificarono il paesaggio in modo permanente: grandi fenditure e voragini si aprirono nel suolo in tutta l'area epicentrale tra Cosenza e la valle del fiume Savuto; smottamenti di terreno interessarono le zone di Martirano e di Cosenza, dove franò la sommità del colle Pancrazio; variazioni nella portata delle sorgenti furono segnalate ad Amantea e a Sambiase. Nella piana di Sant'Eufemia, i dissesti idrologici e i fenomeni di subsidenza del suolo causati dalle scosse andarono ad aggravare l'impaludamento dell'area, portando alla formazione di estese zone di acqua stagnante che favorirono il diffondersi della malaria in tutta la zona: l'area paludosa, di circa 180 kmq, compresa fra i fiumi Amato e Angitola fu bonificata soltanto tre secoli più tardi, nel 1928.

La scossa del 27 marzo, inoltre, causò anche effetti di tsunami lungo il litorale di Pizzo, sulla costa meridionale del Golfo di Sant'Eufemia: il mare in un primo momento si ritirò per uno spazio che, secondo le fonti coeve, fu di circa 2000 passi (circa 3,7 km), e in seguito inondò violentemente la spiaggia (Guidoboni et al., 2007).

La Calabria, come tutta l'Italia meridionale, faceva parte del Regno di Napoli, che all'epoca era sotto il dominio della corona spagnola, retta dal re Filippo IV (1621-1665), che vi aveva istituito un Vicereame.

Il re di Spagna, infatti, era rappresentato a Napoli da un viceré, all'epoca Ramiro Felipe Nuñez de Guzmán, duca di Medina de las Torres (1637-43). Il territorio calabrese era diviso nelle due province di Calabria Citra, corrispondente all'attuale provincia di Cosenza, e di Calabria Ultra, le odierne province di Crotone, Catanzaro, Vibo Valentia e Reggio Calabria. Quando le gravissime notizie del disastro sismico raggiunsero Napoli, il viceré Nuñez de Guzmán decise di nominare il consigliere Ettore Capecelatro suo plenipotenziario per le province calabresi. In altre parole, il viceré conferì pieni poteri straordinari a Capecelatro, che si trasferì in Calabria per organizzare i primi soccorsi alle popolazioni, compiere una rilevazione particolareggiata dei danni e redigere una relazione completa sul disastro. Secondo la sua relazione ufficiale, complessivamente furono distrutte oltre 10.000 case e altre 3000 circa divennero inabitabili. La forza devastante del terremoto fu aggravata dalle caratteristiche comuni a molti abitati calabresi: gran parte dei paesi era arroccata sui rilievi e gli edifici erano addossati gli uni agli altri, spesso su pendii scoscesi. Le case erano in prevalenza costruite in pietra e ciotoli di fiume, legati da malte di scarsa qualità. In molti centri gli edifici erano costruiti anche con mattoni di argilla cruda seccata al sole. Le case, come osservava lo stesso Capecelatro, erano economiche ma "fragilissime", caratteristiche che potenziarono gli effetti distruttivi delle scosse. Il terremoto fece migliaia di vittime. Secondo le prime notizie giunte a Napoli i morti erano circa 30.000, cifra ripresa dal viceré nella sua relazione alla Corte spagnola. Le stime ufficiali del consigliere Capecelatro, tuttavia, risultarono molto inferiori (9.571 morti, dei quali 6.811 in Calabria Citra e 2.760 in Calabria Ultra), ma furono probabilmente sottostimate perché non tenevano conto della mortalità nei centri situati nelle zone marginali rispetto all'area più danneggiata, e soprattutto dei numerosi decessi che avvennero nei mesi successivi a seguito delle ferite e degli stenti. Il terremoto si verificò in un periodo già molto difficile per la Calabria, travagliata – come del resto tutto il Regno di Napoli e gran parte dei paesi europei – da decenni di grave crisi economica, incursioni dei Turchi e altri fattori negativi (per un inquadramento più dettagliato del periodo storico, e, più in generale, per un'analisi storica più approfondita di questo terremoto, si rimanda allo studio di Guidoboni et al. (2007), disponibile on-line alla pagina: http://storing.ingv.it/cfti4med/quakes/00953.html).

L'impatto devastante del terremoto, con migliaia di vittime e vaste distruzioni, spinse le popolazioni superstiti alla fuga in massa dagli abitati distrutti, causando la paralisi delle attività economiche e della vita sociale in tutta la zona. Nonostante le enormi distruzioni, tuttavia, gli abbandoni definitivi e i cambiamenti di sito documentati dalle fonti a seguito del terremoto del 1638 non furono molti. Fra questi ci sono: Sant'Eufemia (CZ), dove gli abitanti superstiti abbandonarono il vecchio abitato distrutto e ricostruirono il paese su un'altura collinare a circa 6,5 km di distanza, col nome di Sant'Eufemia del Golfo (oggi Sant'Eufemia Vetere); Feroleto (CZ), dove una parte della popolazione migrò nella pianura sottostante, dando origine al nucleo iniziale dell'abitato di Feroleto Piano (l'attuale Pianopoli); Grimaldi (CS), nella valle del Savuto, ricostruito a 800 metri circa dalle rovine dell'antico paese. Il consigliere Ettore Capecelatro terminò la sua missione alla fine di maggio 1638 e stava già rientrando a Napoli quando si verificò la seconda grande scossa dell'8 giugno. Questa colpì il versante ionico della Sila devastando centri dell'odierna provincia di Crotone che erano stati solo marginalmente danneggiati dai terremoti di marzo, e causò nuovi danni in paesi del cosentino e del catanzarese già duramente colpiti dalle scosse di due mesi e mezzo prima.

8.1 Zona sismica

Secondo la nuova classificazione sismica del territorio italiano, O.P.C.M. 3274 la sismicità è definita mediante 4 zone, numerate da 1 a 4. Tale ordinanza suddivide porzioni di territorio in quattro zone

secondo i valori di accelerazioni di picco orizzontale del suolo (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni

Figura 8.5 – Stralcio carta zone sismiche Italia

L'area di studio ricade in zona 1 (Figura 8.5), con un'accelerazione orizzontale massima convenzionale (ag), su suolo di categoria A, di 0,35g.

Le più recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (17/01/2018) e l'OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519 superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo nuovi e precisi criteri di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle "categorie di sottosuolo" e della definizione di una "pericolosità di base" fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale.

Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di ag e dei principali "parametri spettrali" riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T*C). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati sul sito http://esse1.mi.ingv.it/. Secondo le NTC l'area in questione è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra 0.250 - 0.275 g, (Figura 8.6), in cui è riportata la mappa di pericolosità sismica per il sito in questione, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (categoria A, Vs>800m/sec).

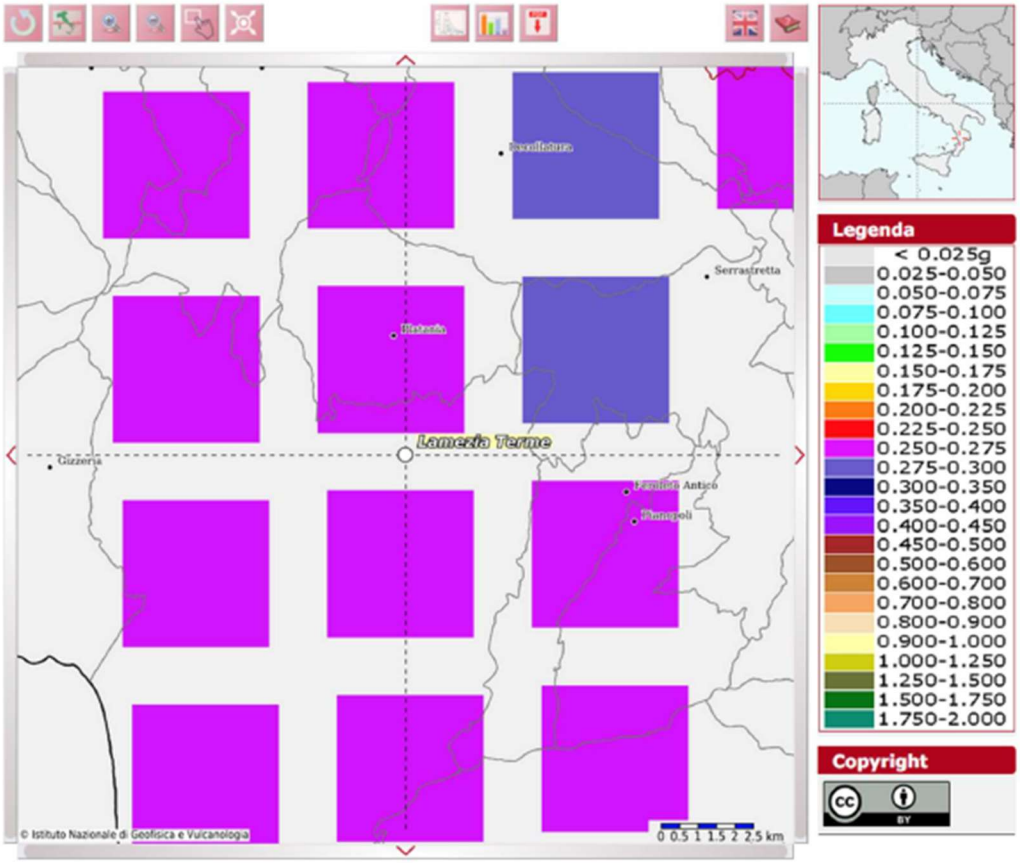


Figura 8.6 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (ordinanza 3519-06)

9 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella tabella seguente, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio "VS". I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio VSeq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VS,eq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella tabella seguente.

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Visti i risultati delle porspezioni sismiche MASW eseguite lungo tutto il tracciato è stato possibile attribuire al comparto di interesse progettuale una categoria di sottosuolo C, calcolata dal p.c..
Questa categoria si riferisce a "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s."

10 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Le "Norme tecniche per le costruzioni" del 2018 (D.M. 17.01.2018), al § 7.11.3.4, "stabilità nei confronti della liquefazione", forniscono la seguente definizione nei riguardi di tale possibile manifestazione: "fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate".

Ciò avviene quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento e quindi allorché gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie, ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

In riferimento al § 7.11.3.4.2, "Esclusione della verifica a liquefazione", della sopracitata normativa, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;

profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60>30 oppure qc1N>180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura a successiva nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 ed in Figura b nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60>30 oppure qc1N>180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura a successiva nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 ed in Figura b nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.

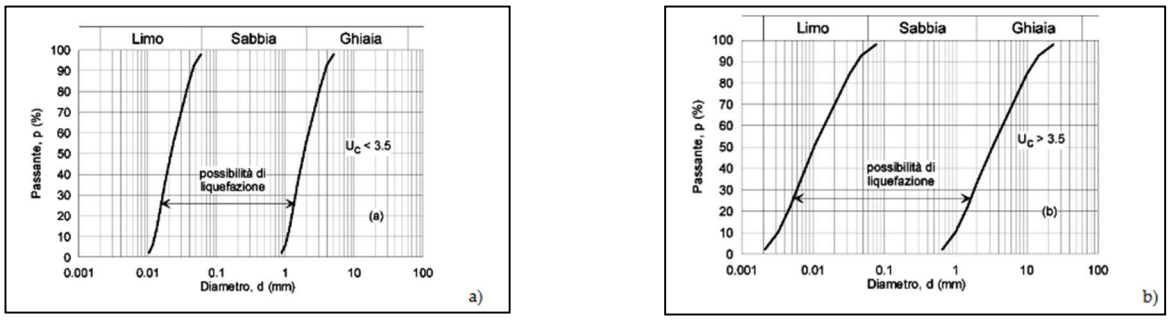


Figura 10-1 - Fasce granulometriche critiche in funzione del coefficiente di uniformità (figure a-b).

Considerata la natura prevalentemente medio-fine dei terreni presenti nell'area in esame, unitamente alla presenza di una falda freatica superficiale, l'ambito oggetto d'indagine risulta potenzialmente suscettibile al fenomeno di liquefazione. Al fine di valutare in modo più approfondito il grado effettivo di suscettibilità dei terreni, è stata condotta un'analisi quantitativa mediante l'applicazione dei criteri previsti dalle normative tecniche, basata sui risultati delle prove Standard Penetration Test (SPT) eseguite all'interno dei fori di sondaggio S1 e S2.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove e delle relative profondità di esecuzione, propedeutica alla valutazione della sicurezza nei confronti del fenomeno.

S1	SPT1	5.00	5-6-10	16
	SPT2	9.00	12-13-16	29
	SPT3	12.00	9-16-18	35
	SPT4	15.00	7-18-20	38
	SPT5	18.00	11-20-22	42
S2	SPT1	3.00	4-7-7	14
	SPT2	7.50	6-5-5	10
	SPT3	12..00	7-7-9	16
	SPT4	15.00	11-20-24	44
	SPT5	18.00	1\0-21-27	48

A valle dell'analisi di stabilità condotta, è stato possibile individuare un intervallo di profondità compreso tra 7.2 m e 12.0 m dal piano campagna in cui il coefficiente di sicurezza (Fs) risulta inferiore al valore limite di 1.2, indicativo di una condizione potenzialmente critica in termini di liquefazione. Per ulteriori approfondimenti si rimanda all'elaborato allegato "OS1 – Verifica alla Liquefazione".

11 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICA IN ACCELERAZIONE LOCALE

Per la valutazione dello spettro di risposta elastico (componente orizzontale e componente verticale) dell'area investigata si è fatto riferimento alle NTC 2018.

11.1 Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche ed in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale si utilizzano i valori del coefficiente topografico S riportati nella tabella seguente in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base, dove ST assume valore unitario.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Tabella 11-1 – Categorie topografiche di riferimento.

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera	S_T
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Tabella 11-2 - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica ST (la variazione spaziale di ST è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo dalla sommità fino alla base dove ST=1,0).

Nel caso in esame, considerando una categoria topografica T1, il coefficiente di amplificazione topografica "St" assume valore unitario.

11.2 Amplificazione stratigrafica

Per un sottosuolo di categoria A i coefficienti di amplificazione stratigrafica "Ss" ed il coefficiente "Cc" (coefficiente funzione della categoria di sottosuolo) valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E, i coefficienti Sc e Cc possono essere calcolati, in funzione dei valori di Fo (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T*c (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella tabella seguente, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Categoria di sottosuolo	S_S	C_C

A	1.00	1.00
B	$1.00 \le 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \le 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \le 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.5}$
E	$1.00 \le 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

Tabella 11-3 - Valori dei coefficienti SS e Cc, per ciascuna categoria di sottosuolo.

Nel caso in esame, si considerano i valori relativi alla categoria di sottosuolo C.

11.3 Vita nominale

La vita nominale di progetto VN di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di VN da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella tabella seguente; tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di VN (anni)
Costruzioni temporanee e provvisorie	10
Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 11-4- Vita Nominale (Vn) per i diversi tipi di opere.

Nel caso del presente intervento si considera "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari";

VN =50 anni.

Le verifiche sismiche di opere di tipo 1 o in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni.

11.4 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con lo scopo di valutare le conseguenze di una interruzione di operatività assegnata o di un eventuale collasso della struttura, le costruzioni sono catalogate in 4 classi d'uso a cui corrisponde un valore del coefficiente d'uso Cu per la definizione dell'azione sismica; in particolare, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise nelle classi d'uso così definite:

- Classe I: *Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.*
- Classe II: *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*

- Classe III: *Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*
- Classe IV: *Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.*

CLASSE D'USO				
Classe	I	II	III	IV
Coefficiente Cu	0.7	1	1.5	2

Tabella 11-5 – Parametri per il calcolo del coefficiente d'uso (Cu).

All'opera in oggetto viene assegnato una Classe d'uso II: "*Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*"

11.5 Periodo di riferimento dell'azione sismica

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto VN per il coefficiente d'uso CU; pertanto, con riferimento a quanto esposto ai paragrafi precedenti risulta che:

VR = Vn (Vita nominale) x Cu (coefficiente d'uso) = 50 X 1 = 50 anni

11.6 Stati limite d'esercizio

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti;

Gli Stati limite di esercizio (SLE) comprendono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle

apparecchiature.

Gli stati limiti ultimi (SLU) comprendono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella seguente.

Stati limite	**P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR**	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 11-6 – Probabilità di superamento PVR al variare dello stato limite considerato.

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR si ricava il periodo di ritorno TR del sisma utilizzando la relazione:

$$TR = - VR / \ln (1- PVR) = - CU\ VN / \ln (1- PVR)$$

11.7 Parametri sismici di progetto

Ai fini della sismicità e con riferimento alle NTC 2018, per l'areale di progetto vengono considerati i seguenti input.

Vita nominale:

Assimilando le opere in progetto a "Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari", si considera VN = 50 anni;

Classe d'uso:

Alle opere viene assegnato una Classe d'Uso II: "*Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*", a cui corrisponde un coefficiente d'uso: **Cu =1.0**

Periodo di riferimento azione sismica:

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto VN per il

coefficiente d'uso CU; pertanto, con riferimento a quanto esposto ai paragrafi precedenti risulta che:

VR = Vn (Vita nominale) x Cu (Classe d'uso) = 50 X 1.0 = 50 anni

Categoria di sottosuolo: è stata assunta la categoria di sottosuolo "C"

Categoria topografica: è stata assunta la categoria topografica "T1".

11.8 Azione sismica locale e spettro di risposta elastico

Ai fini della stima dell'azione sismica locale e per la determinazione dello spettro di risposta elastico è stato preso in considerazione un punto medio con le seguenti coordinate:

WGS84
Lat: 38.934983
Lon: 16.201016

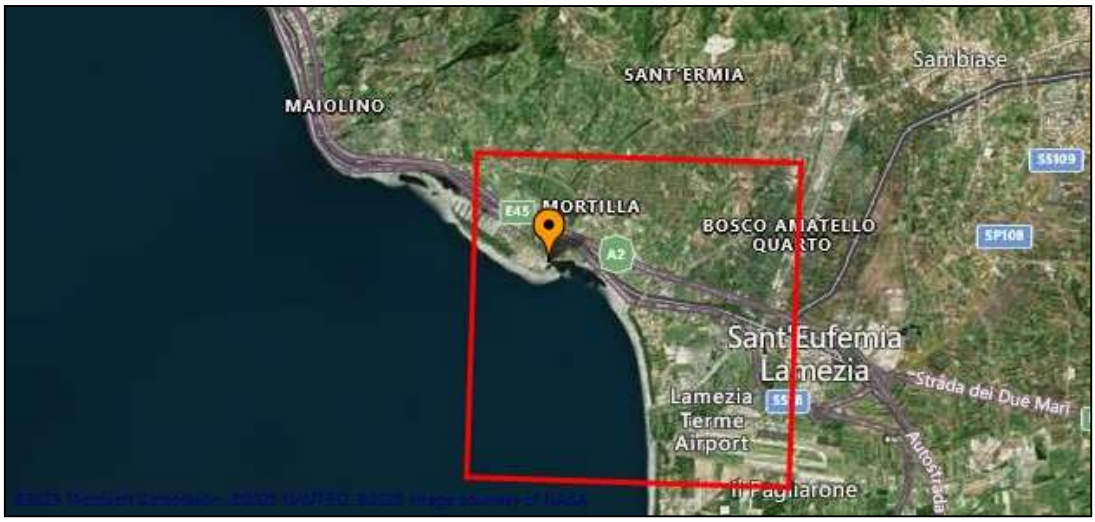
Si precisa che l'intera opera di profetto ricade all'interno dello stesso nodo le cui coordinate vengono riportate nel successivo sottoparagrafo.

Dati del sito:

Sistema WGS84:	Longitudine:	**16,201016**	Sistema ED50:	Longitudine:	**16,201821**
	Latitudine:	**38,934983**		Latitudine:	**38,936007**

Tipo di interpolazione: **media ponderata**

Nota: *Il sito è interno!*



Sicurezza e prestazioni attese:

Vita nominale V_N:	**50** anni (Tab. 2.4.I.)	Periodo di riferimento V_R:	**50** anni (§ 2.4.3.)
Coefficiente d'uso C_U:	**1,00** (Tab. 2.4.II)		

Azioni sulle costruzioni *(Stati limite e relative probabilità di superamento, § 3.2.1):*

Stati Limite di Esercizio (**SLE**):	**SLO,** P_{VR} 81% = **30** **SLD**, P_{VR} 63% = **50**	Stati Limiti Ultimi (**SLU**):	**SLV**, P_{VR} 10% = **475** **SLC**, P_{VR} 5% = **975**

Stati Limiti di Operatività (SLO); di Danno (SLD), di salvaguardia della Vita (SLV) e di prevenzione del Collasso (SLC).

Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche (§ 3.2.2):

Categoria di sottosuolo: **C** (Tab. 3.2.II)

Categoria topografica: **T1** (Tab. 3.2.III)

Rapporto h/H = **1,00**
(h = altezza del sito, H = altezza rilievo topografico)

Spettri di risposta per i diversi periodi di ritorno T_R

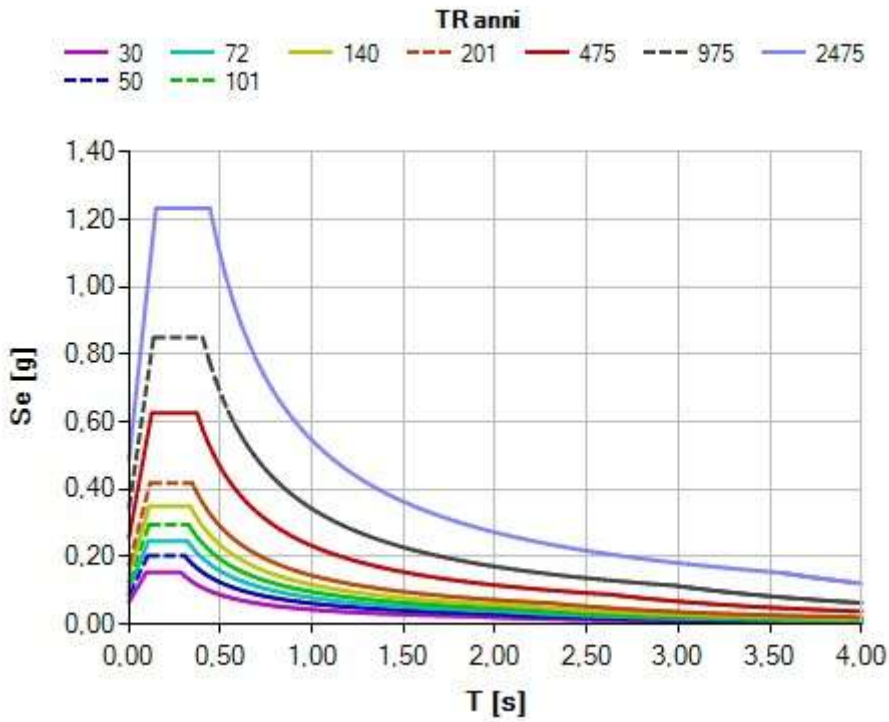


Tabella dei parametri per i diversi periori di ritorno TR:

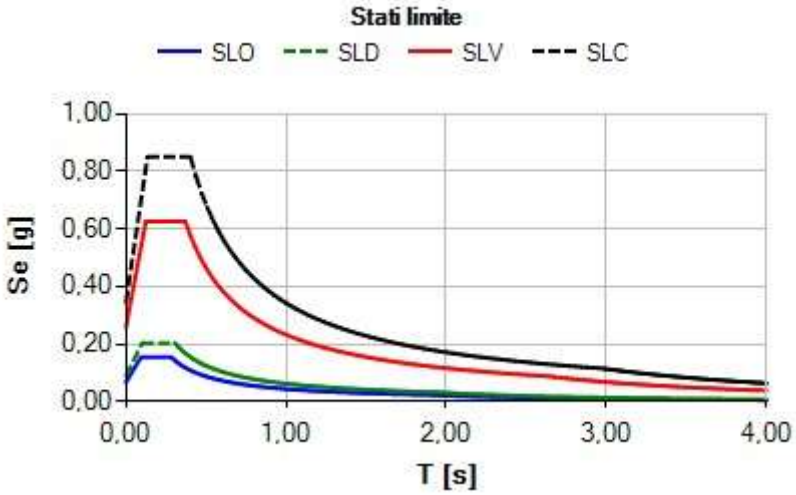
T_R [anni]	ag [g]	Fo [-]	TC* [s]
30	0,06682	2,30319	0,28357
50	0,08869	2,28516	0,30594
72	0,10692	2,30268	0,31975
101	0,12674	2,32764	0,32651
140	0,14873	2,35712	0,33411
201	0,17631	2,37365	0,34575
475	0,25747	2,43088	0,37134
975	0,34523	2,46154	0,40288
2475	0,48966	2,51837	0,44201

Tabella dei parametri riferiti ai 4 stati limite:

Stati limite	T_R [anni]	ag [g]	Fo [-]	TC* [s]
SLO	30	0,06696	2,30306	0,28372

SLD	50	0,08896	2,28544	0,30616
SLV	475	0,25737	2,43082	0,37131
SLC	975	0,34520	2,46153	0,40287

Spettri di risposta elastica in accelerazione orizzontale per i 4 stati limite



12 MODELLO GEOLOGICO-TECNICO

Sulla base del modello geologico e geomorfologico di riferimento illustrato nei capitoli precedenti e rappresentato graficamente sugli elaborati cartografici redatti per il presente studio, a cui si rimanda in per maggiori dettagli, viene di seguito descritto il modello geologico-tecnico posto a base della progettazione.

Il territorio nel quale ricadono i siti di interesse progettuale è caratterizzato dalla presenza di dune e sabbie eoliche sia mobili che stabilizzate, depositi alluvionali fissati e da alluvioni mobili.

La piana sulla quale si sviluppa il progetto in oggetto, è sede di estesi depositi alluvionali di rilevante spessore, trasportati dai corsi d'acqua attraverso una continuazione erosiva nella parte montana dei loro alvei e depositati nella suddetta piana ove la rapida riduzione di pendenza ha smorzato l'energia di trasporto. I materiali alluvionali sono formati da clasti eterometrici, da sub angolari ad arrotondati, di rocce metamorfiche. Questi depositi sono altamente stabilizzati e dotati di elevata permeabilità per porosità. Nella fascia di piana più vicina alla costa, esternamente ai depositi alluvionali di tipo deiettivo, sono ancora presenti depositi alluvionali ma a granulometria più fine, variabile dalle sabbie ai limi ed ai limi argillosi, che in profondità passano a depositi ghiaioso – sabbioso – ciottolosi. La fascia di territorio comunale prossima alla linea di costa è costituita da una serie di depositi sabbiosi di genesi eolica, che hanno assunto un aspetto duniforme. Trattasi di materiali di origine clastica granulari, di assortimento granulometrico molto limitato, dotati di grado di addensamento medio e crescente con la profondità.

Sulla base dei risultati delle indagini geognostiche di cui discusso in precedenza e del rilevamento litotecnico di campagna, è stata predisposta la caratterizzazione geotecnica dei terreni attesi in corrispondenza delle opere in progetto.

Le caratterizzazioni sono riportate nelle singole relazioni di calcolo delle strutture in progetto, di seguito si restituisce la caratterizzazione delle aree sede delle opere strutturali: OS1 – OS2 – OS3.

OS01 – ATTRAVERSAMENTO TORRENTE CASALE, GIZZERIA

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di intervento è stata eseguita attraverso l'interpretazione dei dati scaturiti dall'esecuzione delle indagini eseguite in corrispondenza del volume significativo dell'opera:

- n.2 sondaggi (S1 ed S2) lunghi 20 m con prelievo di campioni e prove in foro SPT e LE e installazione di piezometri Tubo Aperto;
- n.1 MASW (Masw5);
- n.1 stendimento sismico a rifrazione (Sr5);
- n.2 prove penetrometriche dinamiche continue (Dpm13 e Dpm14).

Partendo dai risultati delle indagini, attraverso correlazioni con dati bibliografici, è stata possibile la "stima" del profilo verticale dei terreni e delle caratteristiche geotecniche dei vari orizzonti.

Nel sito in studio sono stati rilevati Depositi alluvionali formati da sabbie con ghiaie, ciottoli e blocchi e depositi litoranei.

I materiali alluvionali sono formati da clasti eterometrici, da subangolari ad arrotondati, di rocce metamorfiche. Questi depositi sono altamente stabilizzati e dotati di elevata permeabilità per porosità.

A tratti la continuità di affioramento delle conoidi è interrotta da depositi alluvionali recenti, da ricondurre ad episodi di esondazione avvenuti nel tardo Olocene e nell'attuale. I depositi di alveo fluviale, in particolare, vengono distinti in mobili e fissati dalla vegetazione. Nella fascia di piana più vicina alla costa, esternamente ai depositi alluvionali di tipo deiettivo, sono ancora presenti depositi alluvionali ma a granulometria più fine, variabile dalle sabbie ai limi ed ai limi argillosi, che in profondità passano a depositi ghiaioso-sabbioso-ciottolosi.

Complessivamente, i termini litologici individuati dalle metodologie di lavoro di cui si compone il seguente studio, possono essere suddivisi nelle unità litotecniche riportate nella seguente tabella.

UNITÀ GEOTECNICHE		
Unità litotecnica	Profondità (m)	Descrizione unità
UNITÀ 1	0.00 – 9.00÷11	Sabbia grossolana limosa da poco a moderatamente addensata
UNITÀ 2	9.00÷11– 20.00 *	Sabbia grossolana più addensata

*profondità indagate

UNITA'	PROFONDITA' MEDIA (m)	PESO DI VOLUME (t/mc)	ANGOLO DI ATTRITO (gradi)	COESIONE (Kpa)*
U1	10	1.7-1.9	29-32	1-1.5
U2	20	1.8-1.95	32-35	0.5-1

La falda è stata individuata a circa **0.50 m** dal piano campagna

La categoria topografica del sito oggetto d'intervento è **T1**;

Gli spessori dei litotipi rilevati, in accordo con l'indagine sismica (M.A.S.W.) indicano, per l'opera in studio, un suolo di categoria **"C"** (O.P.C.M. 3274/2003 e D.M. 17 gennaio 2018).

In corrispondenza del volume significativo dell'opera è stata condotta anche la "verifica a liquefazione" in allegato alla presente relazione.

OS03/OS04 – STRUTTURE STAZIONE ECOLOGICA AEROPORTO (OS04) E BIKE POINT LAMEZIA (OS03)

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di intervento è stata eseguita attraverso l'interpretazione dei dati scaturiti dall'esecuzione delle indagini eseguite in corrispondenza del volume significativo dell'opera:

- n.1 sondaggi (S1 indagini pregresse) lungo 30 m con prelievo di campioni e prove in foro SPT e prelievo di campioni;
- n.1 MASW (Masw7);
- n.1 stendimento sismico a rifrazione (Sr7);
- n.1 HVSR (HVSR3).

Partendo dai risultati delle indagini, attraverso correlazioni con dati bibliografici, è stata possibile la "stima" del profilo verticale dei terreni e delle caratteristiche geotecniche dei vari orizzonti.

Per la caratterizzazione dei terreni sono state rielaborate le prove in foro SPT e considerati i valori di resistenza (*angolo di attrito e coesione*) derivanti dalle prove di laboratorio sui campioni prelevati.

Nel sito in studio sono stati rilevati depositi alluvionali formati da limi sabbiosi e sabbie limose; in superficie si rinviene u livello di materiale antropico di riporto.

Complessivamente, i termini litologici individuati dalle metodologie di lavoro di cui si compone il presente studio, possono essere suddivisi nelle unità litotecniche riportate nella seguente tabella.

UNITÀ GEOTECNICHE		
Unità litotecnica	Profondità (m)	Descrizione unità
UNITÀ 0	2.0	Unità di riporto
UNITÀ 1	5.5	Limi sabbiosi
UNITÀ 2	12.0	Sabbie limose

Nella tabella seguente vengono riportati in maniera unificata i parametri geotecnici relativi alle unità geotecniche individuate.

UNITA'	PROFONDITA' MEDIA (m)	PESO DI VOLUME (t/mc)	PESO DI VOLUME SATURO (t/mc)	ANGOLO DI ATTRITO (gradi)	MODULO YOUNG (Kg/cm2)	MODULO EDOMETRICO (kg/cm2)	MODULO POISSON	COESIONE (Kpa)*
U0*	2.0	1.75	1.85	30	100	80	0.33	0-5
U1	5.5	1.80	1.90	24	60	75	0.32	10
U2	12.0	1.90	2.10	28	180	130	0.31	5-10

*valore stimato

La falda è stata individuata a circa **2.0 m** dal piano campagna.

La categoria topografica del sito oggetto d'intervento è **T1**.

Gli spessori dei litotipi rilevati, in accordo con l'indagine sismica (M.A.S.W.) indicano, per l'opera in studio, un suolo di categoria **"C"** (O.P.C.M. 3274/2003 e D.M. 17 gennaio 2018).

OS02 – BIKE POINT GIZZERIA

La caratterizzazione geotecnica dei terreni presenti nell'area di intervento è stata eseguita attraverso l'interpretazione dei dati scaturiti dall'esecuzione delle indagini eseguite in corrispondenza del volume significativo dell'opera:

- n.1 MASW (Masw8);
- n.1 stendimento sismico a rifrazione (Sr8);
- n.1 HVSR (HVSR4);
- n.1 prova penetrometrica dinamica continua (Dpm20).

Partendo dai risultati delle indagini, attraverso correlazioni con dati bibliografici, è stata possibile la

"stima" del profilo verticale dei terreni e delle caratteristiche geotecniche dei vari orizzonti.

Nel sito in studio sono stati rilevati depositi di dune e sabbie eoliche.

Complessivamente, i termini litologici individuati dalle metodologie di lavoro di cui si compone il presente studio, possono essere suddivisi nelle unità litotecniche riportate nella seguente tabella.

UNITÀ GEOTECNICHE		
Unità litotecnica	Profondità (m)	Descrizione unità
UNITÀ 1	0.00 – 0.70	Unità di riporto costipato
UNITÀ 2	0.70 – 2.60	Sabbie poco addensate
UNITÀ 3	2.60 – 6.80	Sabbie mediamente addensate
UNITÀ 4	6.80 – 8.60	Sabbie addensate

Nella tabella seguente vengono riportati in maniera unificata i parametri geotecnici relativi alle unità geotecniche individuate.

UNITA'	PROFONDITA' MEDIA (m)	PESO DI VOLUME (t/mc)	PESO DI VOLUME SATURO (t/mc)	ANGOLO DI ATTRITO (gradi)	MODULO YOUNG (Kg/cm2)	MODULO EDOMETRICO (kg/cm2)	MODULO POISSON
UNITÀ 1	0.00 – 0.70	1.8	1.9	30-32	155	78	0.33
UNITÀ 2	0.70 – 2.60	1.9	2.0	32-34	225	114	0.32
UNITÀ 3	2.60 – 6.80	2.0	2.0	34-36	307	156	0.30.3
UNITÀ 4	6.80 – 8.60	2.0	2.0	37-40	371	181	

La falda è stata individuata a circa **2.8 m** dal piano campagna.

La categoria topografica del sito oggetto d'intervento è **T1**.

Gli spessori dei litotipi rilevati, in accordo con l'indagine sismica (M.A.S.W.) indicano, per l'opera in studio, un suolo di categoria **"C"** (O.P.C.M. 3274/2003 e D.M. 17 gennaio 2018).

13 CONCLUSIONI

Il presente documento è stato redatto sulla base di rilievi geologici e geomorfologici di campagna, studio di foto aeree e risultati di indagini geognostiche. In particolare, la campagna geognostica, articolata in tre differenti fasi, è consistita nelle seguenti lavorazioni:

Nella prima fase sono state eseguite:

- N.2 sondaggi (S1 e S2) di 20 ml cadauno, entrambi attrezzato con piezometro tubo aperto; nei fori di sondaggio sono state eseguite prove in foro (n.5 SPT e n.1 LE cadauno) e prelevati campioni indisturbati (n.2CI cadauno);
- N.19 prove penetrometriche dinamiche continue (DPM da 1 a 19);
- N.7 prove M.A.S.W. (da 1 a 7);
- N.7 prove di Sismica a Rifrazione con elaborazione Tomografica (da 1 a 7);
- N.3 HVSR (da 1 a 3).

Nella seconda fase sono state eseguite:

- N.7 prove penetrometriche dinamiche continue (DPM da 20 a 26);
- N.3 prove M.A.S.W. (da 8 a 10);
- N.3 prove di Sismica a Rifrazione con elaborazione Tomografica (da 8 a 10);
- N.3 HVSR (da 4 a 6).

Nella seconda fase sono state eseguite:

- N.5 prove penetrometriche dinamiche continue (DPM da 27 a 31);
- N.1 prove M.A.S.W. (11);
- N.1 prove di Sismica a Rifrazione con elaborazione Tomografica (11).

Per garantire una maggiore accuratezza nella ricostruzione del modello geologico-tecnico, in particolare nell'area dell'aeroporto, sono stati presi in considerazione anche studi e indagini geotecniche precedentemente eseguiti in aree limitrofe. Tali aree, pur non coincidendo esattamente con quella oggetto della presente Relazione, ricadono in contesti geologici caratterizzati da litotipi omologhi, confrontabili per genesi, composizione e proprietà geotecniche. In particolare, sono stati utilizzati i dati provenienti dalle indagini eseguite nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica relativo alla **"Riqualifica delle viabilità di accesso e delle aree di sosta – Aeroporto di Lamezia Terme – Relazione Geotecnica"**. Tra queste, è stato considerato esclusivamente il **sondaggio S1**, ubicato in prossimità dell'area di interesse, il quale è stato approfondito fino alla quota di 30 m dal piano campagna. Nel corso del sondaggio S1 sono state eseguite n. 4 prove SPT in foro e prelevati complessivamente n. 4 campioni, sia indisturbati che semi-indisturbati.

Dal punto di vista geologico, così come si evince dalla carta geologica e geomorfologica redatta per il presente studio, l'area interessata dalle opere in progetto è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali (ac-af) di notevole spessore, originati dalla coalescenza di conoidi di deiezione pleistoceniche e costituiti da materiali eterometrici, subangolari o arrotondati, di natura metamorfica. Tali depositi risultano ben consolidati e altamente permeabili. In prossimità della costa, si osservano sedimenti più fini (sabbie, limi e limi argillosi), che in profondità evolvono in depositi ghiaioso-

sabbioso-ciottolosi. Sono inoltre presenti, lungo la fascia costiera, depositi eolici duniformi (d1-d2) costituiti da sabbie a granulometria omogenea, moderatamente addensate, con addensamento crescente con la profondità.
Dal punto di vista geomorfologico l'area di interesse si sviluppa in un contesto pianeggiante e privo di particolari criticità geomorfologiche, senza evidenze di franosità, fenomeni erosivi o altre forme di dissesto. Una porzione del tracciato ciclabile nel territorio comunale di Gizzeria interessa la fascia costiera in corrispondenza dei laghi salmastri La Vota, un sistema lagunare esteso per circa 4 km tra Capo Suvero e Gizzeria Lido.
Tali laghi, separati da dune sabbiose, si sono originati per effetto della deriva litorale dei sedimenti trasportati da nord, bloccati da Capo Suvero, e da successivi fenomeni di interrimento, erosione, progradazione costiera e bonifiche idrauliche avviate nel Novecento. Si tratta di un ambiente dinamico e sensibile, dove processi naturali e impatti antropici hanno modellato e continuano a influenzare l'evoluzione morfologica costiera.
Nel comparto di interesse progettuale è stato individuato un unico complesso idrogeologico di tipo sabbioso–conglomeratico, caratterizzato da permeabilità medio-alta e conducibilità idraulica compresa tra 10^{-1} e 10^{-3} cm/s, come dedotto dalle prove di permeabilità eseguite nei sondaggi.
Il complesso è costituito principalmente da materiali alluvionali di tipo deiettivo, con granulometria fine in superficie (sabbie) che evolve in profondità in depositi ghiaioso-sabbioso-ciottolosi. A questi si associano depositi eolici sabbiosi duniformi, moderatamente addensati, con densità crescente con la profondità.
Le indagini geognostiche hanno inoltre evidenziato la presenza di una falda superficiale ubicata a circa 0,5 m dal piano campagna, valore coerente con la morfologia pianeggiante e la presenza dei laghetti salmastri nell'area costiera.
In considerazione della natura medio-fine dei terreni e della presenza di una falda freatica superficiale, l'area oggetto di studio risulta potenzialmente suscettibile al fenomeno di liquefazione. A tal fine è stata eseguita una verifica quantitativa secondo le normative tecniche vigenti, utilizzando i risultati delle prove SPT effettuate nei sondaggi S1 e S2.
L'analisi ha evidenziato un intervallo critico compreso tra 7.2 m e 12.0 m di profondità, nel quale il coefficiente di sicurezza (Fs) risulta inferiore a 1.2, indicando una possibile condizione di instabilità. Maggiori dettagli sono riportati nell'elaborato allegato "OS1 – Verifica alla Liquefazione".
In conclusione, fermo restando le indicazioni e prescrizioni fornite nel presente elaborato, si esprime parere geologico favorevole alla realizzazione del progetto. In ogni caso, tutti i dati evidenziati dallo studio, ribadiscono che non esistono particolari difficoltà alla realizzazione delle opere, se si eseguiranno i normali accorgimenti già previsti.

14 ALLEGATO – VERIFICA A LIQUEFAZIONE - OS1 ATTRAVERSAMENTO TORRENTE CASALE

OS1 – VERIFICA A LIQUEFAZIONE
RELAZIONE DI CALCOLO

Verifica alla liquefazione dei terreni in condizioni sismiche

~ Prove SPT ~

Generalità

La liquefazione del terreno durante i terremoti è una delle più importanti cause di danneggiamento e collasso delle costruzioni fondate su terreni sabbiosi saturi. In effetti in tali situazioni si possono associare estesi fenomeni di subsidenza, movimenti di masse fluidificate di terreno, ecc., ma anche effetti meno devastanti (cedimenti differenziali, lesioni negli edifici, ecc.) che tuttavia possono produrre gravissimi danni al patrimonio abitativo e artistico di una località. La liquefazione di un deposito è il risultato dell'effetto combinato di due principali fattori: le condizioni del terreno (fattore di predisposizione) e la sismicità (fattore scatenante). Il termine "liquefazione" denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Deve essere verificata la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda. La causa principale è il sorgere di un notevole aumento delle pressioni interstiziali, che assumono valori prossimi a quelli delle pressioni totali, realizzando condizioni di resistenza al taglio praticamente nulla facendo sì che il terreno si comporti come un liquido. La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni necessarie per instaurare il fenomeno della liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione. I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono costituiti da terreni più recenti; mentre quelli più antichi e a parità di composizione possiedono un basso potenziale in quanto le particelle costituenti il materiale sviluppano legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo. Inoltre la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile ed omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità. L'approccio più comunemente utilizzato per valutare il fenomeno della liquefazione è attraverso il fattore di sicurezza ottenuto dal rapporto della resistenza ciclica (CRR, *Cyclic Resistance Ratio*) con lo stress ciclico (CSR, *Cyclic Stress Ratio*).

$$\mathrm{FS} = \frac{\mathrm{CRR}_{7.5} \cdot \mathrm{MSF}}{\mathrm{CSR}} \cdot \mathrm{k}_{\alpha} \cdot \mathrm{k}_{\sigma}$$

dove $\mathrm{CRR}_{7.5}$ è il rapporto di resistenza ciclica per un terremoto di magnitudo 7.5, CSR è il rapporto per lo stress ciclico, MSF il fattore di scala per la magnitudo, k_{α} e k_{σ} i fattori di correzioni per la pendenza del terreno e per il sovraccarico.

L'espressione che si è soliti utilizzare per il calcolo del CSR è quella di Seed e Idriss (1971), definita inizialmente attraverso lo stress medio ciclico, τ_{AV}, che si sviluppa sulle superficie orizzontali dei vari livelli del suolo in opposizione agli sforzi verticali efficaci, σ'_{v}. L'equazione corrisponde al 65% dell'accelerazione massima orizzontale $\mathrm{a}_{\mathrm{max}}$ del suolo su g che moltiplica il rapporto delle tensioni verticali $(\sigma_{\mathrm{v}}/\sigma'_{\mathrm{v}})$ ridotto dal fattore rd.

$$\mathrm{CSR} = \frac{\tau_{\mathrm{AV}}}{\sigma'_{\mathrm{v}}} = 0.65 \cdot (\mathrm{a}_{\mathrm{max}}/\mathrm{g}) \cdot (\sigma_{\mathrm{v}}/\sigma'_{\mathrm{v}}) \cdot \mathrm{rd}$$

Fattore di riduzione, rd

Seed e Idriss (1971) introdussero un fattore di riduzione per descrive il rapporto ciclico che si genera sotto una colonna di terreno flessibile poggiante sopra una colonna di terreno rigido così come da Figura 1. La curva media del fattore di riduzione è in funzione della profondità ed inizialmente si estendeva fino alla profondità di circa 12 m (~ 40 piedi) ed era adottata per qualsiasi magnitudo e per qualsiasi profilo verticale di terreno.

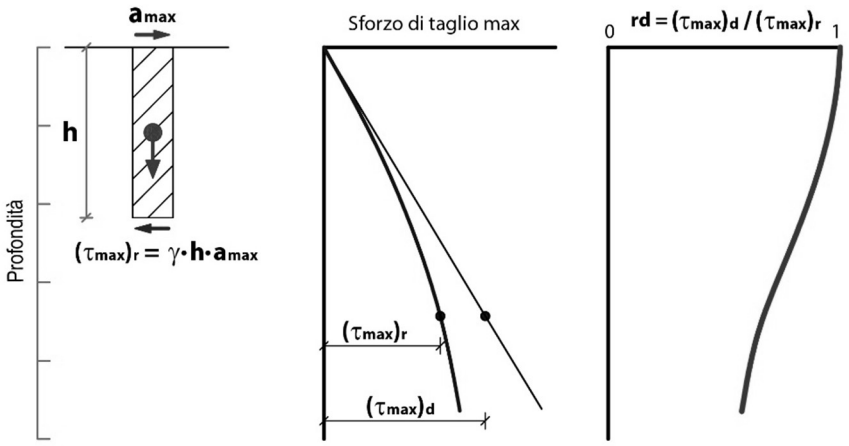


Fig. 1 - Schema per determinare il massimo sforzo di taglio e il coefficiente di riduzione.

Le sollecitazioni di taglio indotte in un generico punto all'interno di un deposito di terreno pianeggiante, sono principalmente dovute alla propagazione verticale delle onde di taglio all'interno dello stesso deposito. Tali sollecitazioni possono essere calcolate con l'impiego di procedure analitiche dipendenti dalle caratteristiche del terremoto in termini di scuotimento al suolo. Idriss (1999), in estensione al lavoro di Golesorkhi (1989), conclusero che il coefficiente di riduzione poteva essere espresso con una funzione sulla profondità e della magnitudo del terremoto.

Fattore di scala per la magnitudo, MSF

È un fattore per uniformare la magnitudo di un terremoto al valore di 7.5 del CRS equivalente secondo la seguente espressione:

$$MSF = CSR_M / CSR_{M=7.5}$$

Da ciò si evince che MSF fornisce una rappresentazione approssimativa degli effetti della durata di uno scuotimento o del numero equivalente di stress cicli.

Fattori di correzione dei valori SPT

Prima di calcolare il CRR per ciascun dato è necessario correggere i valori di N letti durante le prove SPT. Le correzioni riguardano il sovraccarico, la lunghezza delle aste, il tipo di campionatore, il diametro del foro e l'efficienza energetica del martello ottenendo così il nuovo valore $(N_1)_{60}$.

$$N_{60} = N \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_E$$

$$(N_1)_{60} = N_{60} \cdot CN$$

dove N è il numero di colpi registrato dalla prova SPT, C_R è il fattore di correzione per la lunghezza dell'asta, C_S è il fattore di correzione del campionatore (per il campionatore standard è 1.0), C_B relativo alla correzione per il diametro del foro, C_E è il fattore di correzione per l'efficienza energetica ed in ultimo CN è il fattore di correzione per il sovraccarico; regolarizza il valore di N al valore di N_1 alla pressione effettiva di 1 atm.

Rapporto di resistenza ciclica, CRR

Il CRR di un terreno incoerente varia con lo stress effettivo di confinamento ed è influenzato dalla presenza di sollecitazioni di taglio statiche come quelle esistenti sotto i pendii. Si ottiene da correlazioni semi-empiriche considerando dei terremoti di magnitudo pari a 7.5. Dato che queste correlazioni sono valide per lo più per siti pianeggianti e per sollecitazioni di sovraccarico efficaci nell'intervallo di 100 ± kPa, gli autori Seed et. al., (1983) hanno proposto dei fattori di correzione modificando l'espressione in questo modo.

$$CRR = CRR_{\sigma=1,\alpha=0} \cdot K_\sigma \cdot K_\alpha$$

con K_σ il fattore di correzione per il sovraccarico e K_α il fattore per lo sforzo di taglio statico. L'equazione che approssima la curva del rapporto CRR in funzione di $(N_1)_{60}$ per le sabbie pulite ottenuta da A.F. Rauch (1998), valida per $(N_1)_{60} < 30$ è la seguente.

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34-(N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10\cdot(N_1)_{60}+45]^2} - \frac{1}{200}$$

Per $(N_1)_{60} \geq 30$, i terreni granulari puliti sono troppo densi per liquefare e sono classificati come non liquefacibili.

Densità relativa, D_R

La densità relativa di un suolo si utilizza nel calcolo del fattore di correzione del sovraccarico, CN. La più semplice delle relazioni è quella di Skempton (1986).

$$(\mathrm{N}_1)_{60} = 41 \cdot \mathrm{D}_\mathrm{R}^2$$

Correzione per il contenuto in fine, FC

La prova SPT è un test dinamico, pertanto sulla base delle caratteristiche di compressibilità e di contrazione di un terreno saturo, nella fase esecutiva della stessa prova si verifica un eccesso di pressione per l'acqua interstiziale presente, la quale tende a dissiparsi negli spazi vuoti tra le particelle di terreno. Nel caso in cui questi spazi sono occupati da un materiale fine la dissipazione della pressione dell'acqua tende ad essere più lenta. Ciò significa che all'aumentare del contenuto di FC, il valore di N decresce come si può vedere nella figura 2.

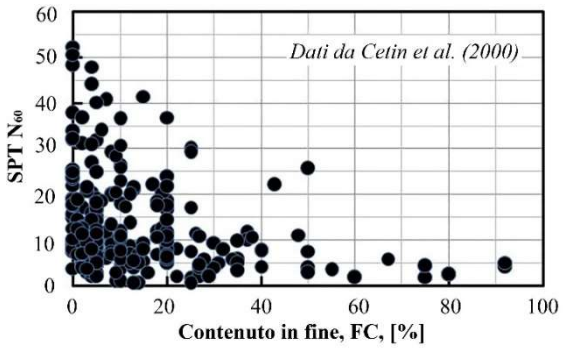


Fig. 2 – Relazione tra SPT N_{60} e FC (Cetin et al. 2000).

Fattore di correzione del sovraccarico, Kσ

Oltre alla magnitudo, il CRR può essere corretto per il sovraccarico. In effetti il CRR della sabbia dipende dalla sollecitazione effettiva del sovraccarico; aumenta la resistenza alla liquefazione con l'aumento dello stress da contenimento. Le prime teorie risalgono a Seed (1967a), Seed e Idriss (1982) e Seed (1983). Quest'ultimi hanno introdotto per prima il concetto di fattore di correzione.

$$\mathrm{K}_\sigma = \left(\sigma'_{\mathrm{v},0}/\mathrm{P_a}\right)^{\mathrm{f}-1}$$

dove f varia in funzione di D_R, e con l'aumentare di D_R, anche f aumenta, e di conseguenza produce forti riduzioni dei valori di K_σ con sollecitazioni confinanti più elevate. Questo schema di correzione è stato

adottato da Youd et al. (2001), nel loro studio allo stato dell'arte i valori di f pari a 0.8, 0.7 e 0.6 sono stati raccomandati rispettivamente per sabbie sciolte, mediamente-dense e dense.

Fattore di correzione dello stress da taglio, Kα

A partire da Vaid e Finn (1979), è stato documentato che la resistenza al carico ciclico può aumentare o diminuiscono a seconda dello stato di D_R, dell'entità di $\tau_{st,0}$ e della deformazione ciclica di taglio (γ) ai vari livelli. A tale proposito Seed (1983) ha introdotto un fattore di correzione, Kα, che si raccomanda di utilizzare per regolare il rapporto di resistenza ciclica. Il termine di normalizzazione $\alpha = \left(\tau_{st,0}/\sigma'_{v,0}\right)$ è usato per quantificare la sollecitazione di taglio statico iniziale.

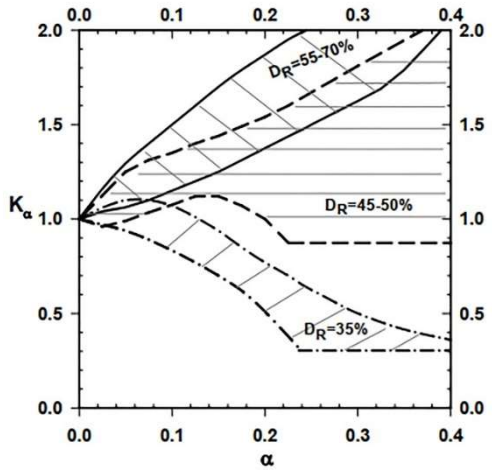


Fig. 3 – Relazione tra K_α e α (Harder and Boulanger, 1997).

Esclusione dalla verifica a liquefazione

Le normative di riferimento sono:

- gli Eurocodici (UNI ENV 1998-5:1998) che nel caso di edifici su fondazioni superficiali la verifica alla suscettibilità a liquefazione può essere omessa:
  - se il terreno sabbioso saturo si trova a profondità superiore ai 15 m dal piano campagna;
  - per valori di α < 0,15 (α è il coefficiente di accelerazione di progetto) e, al contempo, la sabbia in esame soddisfi almeno una delle condizioni seguenti:
    - contenuto di argilla maggiore del 20% e con indice di plasticità maggiore di 10;
    - contenuto di limo maggiore del 10% e resistenza $(N_1)_{60} > 20$;
    - frazione fine trascurabile e resistenza $(N_1)_{60} > 25$.
- Le NTC 2018 e ss.mm.ii. chiariscono che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:
  - accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
  - profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
  - depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
  - distribuzione granulometrica esterna alle zone limiti indicate nella figura 4.

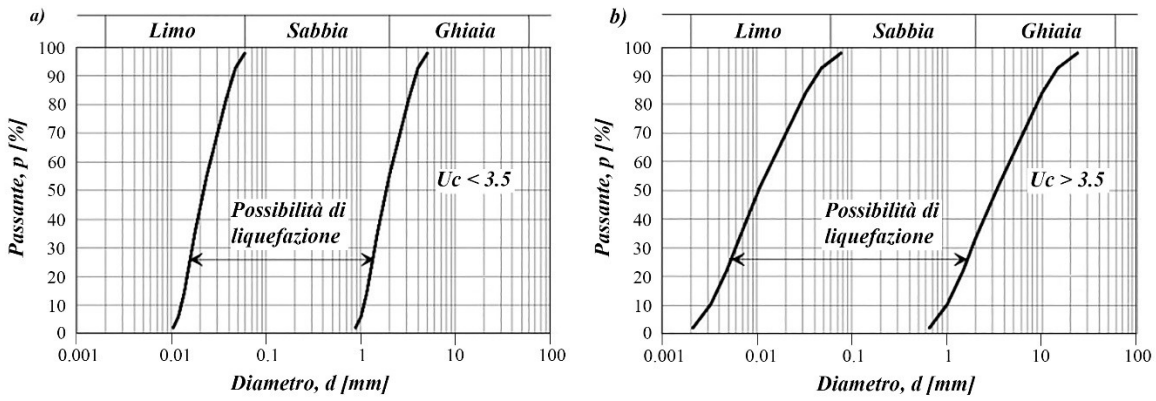


Fig. 4 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (§ 7.11.3.4.2 NTC 2018).

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

Sigla della prova: **LqSPT-1**

Coordinate WGS84: Lat. **38,935355** Long. **16,201587**

Sismicità dell'area

M_w = magnitudo momento, R = distanza epicentrale, Amax = accelerazione massima attesa al suolo.

M_w: **6,00** *R:* **9,00** km Ag: **0,260** g

Falda idrica

Zw = profondità della falda, Z_{lim} = profondità limite da normativa.

Zw: **0,50** m *Z_{lim}:* **15,00** m

Sovraccarico

B = larghezza, L = lunghezza, P = sovraccarico applicato.

B: **4,70** m *L:* **10,00** m P: **30,00** kPa

Fattori correttivi

CN = correzione per il sovraccarico, ERm: rapporto energetico, CE = efficienza energetica, D = diametro, CB = correzione per il diametro del foro, Skempton (1986), CR = correzione per la lunghezza delle aste, CS = correzione per il campionatore. Per il campionatore standard si pone = 1.

CN:	**Peck et al. (1974)**	*Tipo:*	**Automatic hammer**
ERm:	**60,00**	*CE:*	**1,00**
D:	**65 - 115** mm	*CB:*	**1,00**
CR:	**Youd et al. (2001)**	*CS:*	**1,00**

Algoritmi di calcolo

rd = riduzione della tensione, FC = correzione per il contenuto in fine, MSF = Magnitude Scaling Factor (per M_w diversa da 7,5), CRR = Cyclic Resistance Ratio, DR = densità relativa, Kσ = rende indipendente l'azione sismica dalle tensioni litostatiche, alfa = tangente dell'angolo d'inclinazione (da 0 a 0.35), Q = costante empirica litologica, PL = probabilità alla liquefazione.

rd:	**NCEER (Youd et al., 2001)**	*FC:*	**Youd et al. (2001)**
MSF:	**Idriss (1995) & Robertson et al (2009)**	*CRR:*	**NCEER Youd et al. (2001)**
DR:	**Skempton (1986)**	*Kσ:*	**Yound et al. (2001)**
alfa:	**0,00**	*Q:*	**8**
PL:	**Juang et al. (2003)**	*FS_{lim}:*	***1,25***

Letture

Z = intervalli di profondità, N = numero di colpi misurati.

Z [m]	***N*** [colpi]
3,00	14,00
7,50	10,00
12,00	16,00
15,00	44,00
18,00	48,00

Stratigrafia

Z = profondità strato, H = spessore strato, γ = peso di volume naturale, γ_{sat} = peso di volume saturo, D50 = diametro del passante al 50%, Fine = contenuto in fine nelle sabbie espresso in percentuale.

Z [m]	***H*** [m]	***γ*** [kN/m^3]	***γ_{sat}*** [kN/m^3]	***D50*** [mm]	***Fine*** [%]
10,00	10,00	18,00	19,00	---	25,00
18,00	8,00	19,00	20,00	---	15,00

Tabella dei risultati

Z = profondità, C = prodotto dei fattori (CE x CB x CR x CS), N(60) = numero di colpi normalizzato, σvo = tensione verticale totale, σeff = tensione verticale efficace, uo = pressioni neutre, N1(60) = numero di colpi corretto per il sovraccarico.

Z [m]	***CR***	***C***	***N(60)***	***rd***	***σvo*** [kPa]	***σeff*** [kPa]	***uo*** [kPa]	***CN***	***N1(60)***
3,00	0,80	0,80	11,20	0,98	70,59	46,06	24,53	1,41	15,75
7,50	0,95	0,95	9,50	0,94	162,69	94,02	68,67	1,07	10,17
12,00	1,00	1,00	16,00	0,86	256,53	143,71	112,82	0,91	14,61
15,00	1,00	1,00	44,00	0,76	319,39	177,15	142,25	0,84	36,94
18,00	1,00	1,00	48,00	0,67	381,61	209,93	171,68	0,78	37,48

CSR = Cyclic Stress Ratio, N1(60)cs = numero di colpi corretto per la frazione fine, FS = fattore di sicurezza, τAV = tensione tangenziale media.

Z [m]	*CSR*	*N1(60)cs*	*MSF*	*CRR7.5*	*CRR*	*DR* [%]	*FS*	*PL*	*τAV* [kPa]
3,00	0,25	21,85	1,77	0,24	0,42	51,24	1,67	---	11,68
7,50	0,28	15,62	1,77	0,17	0,29	41,16	1,07	0,38	25,93
12,00	0,26	17,81	1,77	0,19	0,34	49,34	1,17	0,29	37,13
15,00	0,23	41,21	1,77	0,30	0,53	78,46	1,94	---	41,06
18,00	0,20	41,78	1,77	0,30	0,53	79,03	2,08	---	43,02

Potenziale di liquefazione

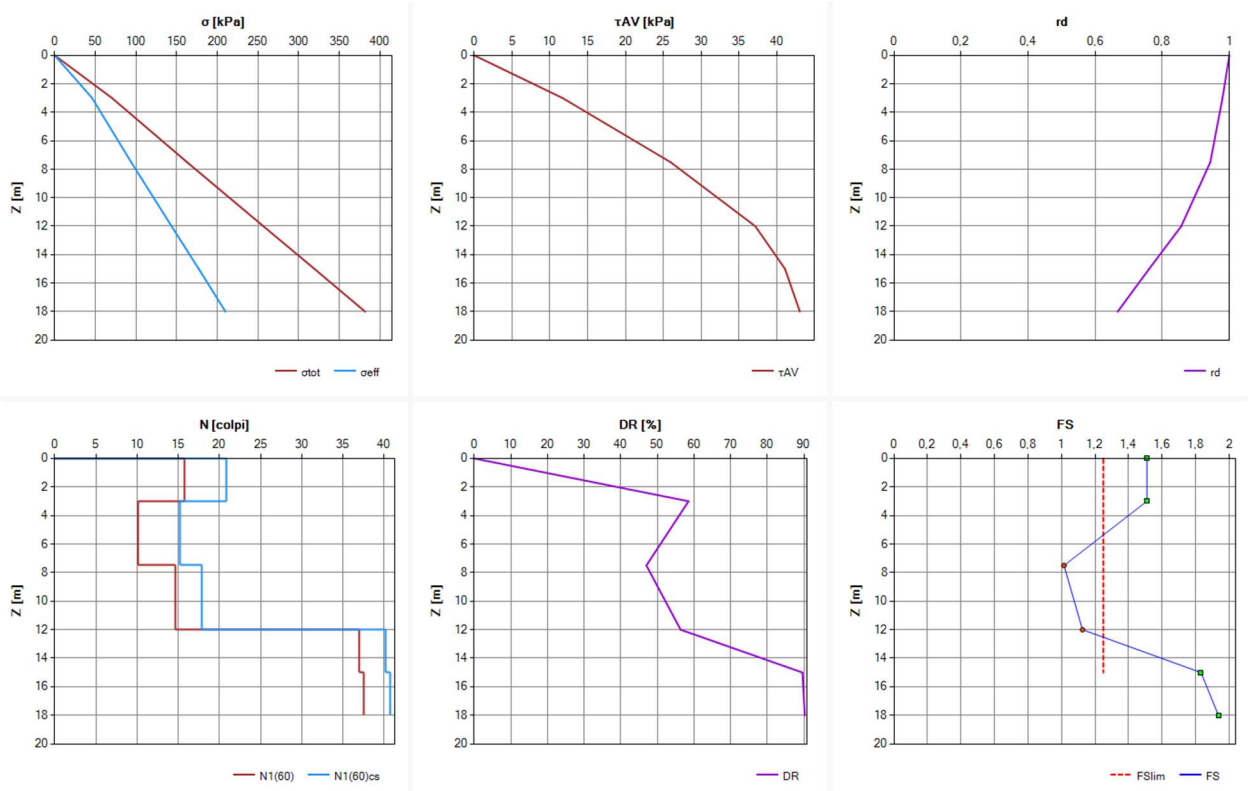
L'indice del potenziale di liquefazione (LPI) è un parametro utile per valutare il potenziale di liquefazione regionale. Si calcola considerando una colonna stratigrafica di profondità pari a 20 m.

Iwasaki et al. (1978, 1982): P_{LI}: **0,00** *Molto basso*

Indice di causa ed effetti nel terreno

Sönmez (2003): L_I: **0,21** *Basso*

Note: Non si manifesta alcun fenomeno.

Indice di severità del rischio

Sönmez e Gökceoğlu (2005): L_S: **19,41** *Basso.*